

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANNIELLA ROSA

AVALIAÇÃO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA PROVENIENTE DA QUEIMA DE  
COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA.

CURITIBA

2014

DANNIELLA ROSA

AVALIAÇÃO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA PROVENIENTE DA QUEIMA DE  
COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE  
COMBUSTÃO INTERNA.

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof<sup>ª</sup> Dra Maria José Jerônimo de Santana Ponte  
Coorientador: Prof<sup>º</sup> Dr. George Stanescu

CURITIBA

2014

---

R788

Rosa, Danniella

Avaliação e aproveitamento da água proveniente da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis em motores de combustão interna / Danniella Rosa. – Curitiba, 2014.  
110f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014.

Orientador: Maria José Jerônimo de Santana Ponte -- Coorientador: George Stanescu .  
Bibliografia: p. 98-102.

1. Engenharia de materiais. 2. Gases de combustão. 3. Motores de combustão interna. I. Universidade Federal do Paraná. II. José Jerônimo de Santana Ponte, Maria III. Stanescu, George. IV. Título.

CDD: 621.43

---

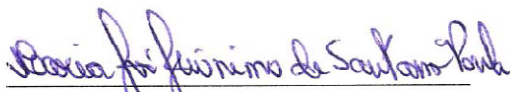


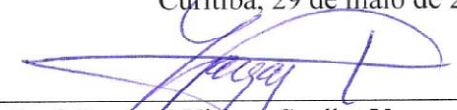
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais- PIPE  
Setor de Tecnologia


### RELATÓRIO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

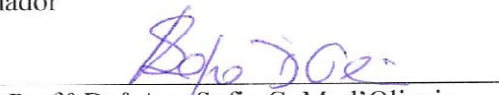
Aos vinte nove dias do mês de maio de 2014, na Sala de Aula do PIPE - no Centro Politécnico - UFPR, foi instalada pela Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Sofia C. M. de Oliveira, coordenadora do PIPE – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, a Banca Examinadora para a ducentésima septuagésima nona defesa de dissertação de mestrado na área de concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais. Estiveram presentes no ato, além do coordenador do Curso de Pós-Graduação, professores, alunos e visitantes. A Banca Examinadora, atendendo a determinação do colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, foi constituída pelos professores doutores: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria José J. Ponte (UFPR), José Viriato Coelho Vargas (UFPR), Viviana Cocco Mariani (PUC-PR). Às 14:00 horas, a banca iniciou os trabalhos, convidando a candidata **DANNIELLA ROSA** a fazer a apresentação da dissertação de mestrado intitulada **“AVALIAÇÃO E APROVEITAMENTO DA ÁGUA PROVENIENTE DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS E BIOCOMBUSTÍVEIS EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA”**. Encerrada a apresentação, iniciou-se a fase de arguição pelos membros participantes. Tendo em vista a dissertação e a arguição, a banca decidiu pela APPROVAÇÃO do candidato, (de acordo com a determinação dos artigos 68 e 69 da resolução 65/09 de 09.11.2009).

Curitiba, 29 de maio de 2014.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria José J. Ponte  
Orientadora

  
Prof. Dr. José Viriato Coelho Vargas  
Examinador

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Viviana Cocco Mariani  
Examinador

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Sofia C. M. d'Oliveira  
Coordenadora do PIPE

... à minha família pelo apoio e amor incondicional,  
pelo gosto pelo conhecimento e pela força  
para lutar sempre.

... à Eliane Fiakofski Zauer por estar presente nos  
momentos mais difíceis sendo sempre uma  
presença materna inigualável.

... aos meus amores Carlos Alberto F. Cadamuro  
e Millena Rosa Cadamuro, que me fazem  
sempre querer transformar este mundo em um  
lugar melhor para vivermos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao IFPR – Instituto Federal do Paraná que possibilitou a aquisição de equipamentos importantes para a realização dos experimentos.

Aos meus alunos Erick, Lucas, Marcelo, Paloma, Daniel, Jéssica, Meiriana e Matheus por toda paciência, auxílio e dedicação para o desenvolvimento deste projeto.

À minha orientadora Profª Dra. Maria José por acreditar na minha proposta e ao coorientador George Stanesco por iluminar a minha orientação dando uma direção ao desenvolvimento e aplicação deste trabalho.

Ao Erick e Luiz Daemme, que junto ao Lactec, auxiliaram com a disponibilização de dados fundamentais para este projeto.

Ao Dr. André, do Lacaut, que nos momentos finais auxiliou-me com prontidão e grande valia.

Ao Profº Dr. Carlos Itsuo Yamamoto que no maior momento de dúvida quanto aos conceitos por mim desenvolvidos, deu-me segurança para continuar e acreditar.

A todos aqueles que acreditaram na minha ideia e me deram forças para continuar mesmo quando muitos diziam que era absurdo, muito obrigada.

“Água um dia cairá dos céus  
Em nós  
Fará lugar  
Calma como a lava de um vulcão”

*A Banda Mais Bonita da Cidade*

“Época triste a nossa. É mais fácil quebrar um átomo que um preconceito.”

*Albert Einstein*

## RESUMO

Atualmente o reaproveitamento de qualquer resíduo, tornando-o menos poluente, já é um grande avanço para o meio ambiente. Esse é o caso da umidade produzida nas combustões em geral. A grande produção diária de emissão veicular é uma preocupação que tem gerado muitos estudos voltados para as consequências dos gases nocivos tanto na atmosfera quanto no ser humano. No entanto, junto com as emissões veiculares nocivas à saúde e ao meio ambiente, existe um produto pouco estudado e extremamente importante, o  $H_2O$ . Para que fosse comprovado este fato foi criado um experimento baseado no resfriamento da emissão veicular de forma que a água contida nela pudesse condensar e ser medida. Inicialmente foi pensado em um trocador de calor (resfriador) acoplado em um automóvel, mas nesse caso haveria dificuldade em medir o quanto de combustível foi realmente queimado. Por conta dessa dificuldade foi criado um sistema de controle com entrada e saída pré-determinadas para um gerador à gasolina com fácil manuseio no abastecimento. Esse gerador era de 4 tempos, ciclo Otto, para reproduzir o mesmo processo de queima dos automóveis. Junto ao escapamento foi criado um sistema de arrefecimento para o esfriamento do gás de emissão o suficiente para atingir o ponto de condensação do  $H_2O$  em estado de vapor. Para controlar a temperatura o experimento foi submetido a monitoramento termográfico, apontando a temperatura em cada ponto do trocador de calor. Com este experimento garantiu-se que a água formada na emissão se tornasse líquida. Avaliações teóricas e análises químicas comprovaram isto. O aproveitamento desta água será proposto em um sistema de cogeração de energia e alimentação por gás carbônico e água, em uma estufa. Concluiu-se então que a produção de água é efetiva e pode ser reaproveitada de forma eficiente auxiliando o ser humano e o meio ambiente.

**Palavras-chave:** produção de água, geração de vapor, emissão veicular, termografia, gases de combustão.



## ABSTRACT

Currently, recycling of any waste, making it less pollutant is already a challenger for the environment. This is the case of moisture produced on combustion in general. The large daily output of vehicular emission is a concern that has generated many studies on the impact of harmful gases into air and in humans. However, along with the harmful vehicle emissions on health and environment, there are few studies about this extremely important product,  $H_2O$ . Therefore, an experiment based on cooling of vehicular emission was proposed so that its water contained could condense and be measured. Initially it was thought of a heat exchanger (cooler) coupled in an automobile, but in this case it could be difficult to measure how much fuel is actually burned. Because of this difficulty, a controlled system with input and output pre-determined parameters was created for a gasoline engine with easy handling in supply. Next to the exhaust, it was positioned a cooling system for cooling the emission gas enough to reach the point of  $H_2O$  condensation from the vapor state. To control the temperature, the experiment was subjected to thermographic monitoring, indicating the temperature at each point of the heat exchanger. With this experiment it was assured that the water formed in the emission became liquid. A water-like liquid was obtained. Theoretical reviews and chemical analysis confirmed this. The use of this water will be proposed in a cogeneration system and power supply by carbon dioxide and water in a greenhouse. It was concluded that the production of water is effective and could be reused efficiently assisting humans and the environment.

**Keywords:** water production, steam generation, vehicular emission, thermography, combustion gases.

## **PRODUÇÃO CIENTÍFICA**

ROSA, D; SANTANA, M. J. J. P.; CADAMURO, C. A. F. Produção de água em motor de 4 tempos ciclo Otto à gasolina comercial. In: CONEM 2014 – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Uberlândia, 2014.

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

(A/C)	- Ar/Combustível real
(A/C) <sub>esteq</sub>	- Ar/Combustível estequiométrico
$\Delta EC$	- Variação de Energia Cinética
$\Delta EP$	- Variação de Energia Potencial
$\Delta U$	- Variação de Energia Interna
A/C	- Ar/Combustível
ABAS	- Associação Brasileira de água Subterrânea
ANA	- Agência Nacional das Águas
ANP	- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
$C_{16}H_{24}$	- n-hexadecano
$C_2H_5OH$	- Etanol
$C_6H_{12}O_6$	- Glicose
$C_7H_{16}$	- n-heptano
$C_8H_{18}$	- Iso-octano
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
$CH_4$	- Metano
CO	- Monóxido de carbono
$CO_2$	- Dióxido de carbono
COV	- Compostos Orgânicos Voláteis
DENATRAN	- Departamento Nacional de Trânsito
E25	- Gasolina com 25% de etanol em volume líquido
EC	- Energia Cinética
EP	- Energia Potencial
$E_{vc}$	- Energia do Volume de Controle
FMC	- Fumaça
FTIR	- Fourier Transform Infrared Spectroscopy
Gasool	- Gasolina misturada com etanol
GNV	- Gás Natural Veicular
$H_2O$	- Água
HC	- Hidrocarboneto

HPA	- Hidrocarbonetos Polinucleares Aromáticos
IFPR	- Instituto Federal do Paraná
INCT	- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
INPM	- Instituto Nacional de Pesos e Medidas
IPVA	- Imposto de Propriedade de Veículos Automotores
LEME	- Laboratório de Ensaio Mecânico
MME	- Ministério de Minas e Energia
MP	- Material particulado
MP10	- Material Particulado com mínimo de 10 µm de diâmetro
N <sub>2</sub>	- Gás nitrogênio
NMHC	- Hidrocarbonetos Não Metano
NO <sub>2</sub>	- Dióxido de Nitrogênio
NO <sub>x</sub>	- Óxido de nitrogênio
O <sub>2</sub>	- Oxigênio
OPEP	- Organização dos Países Exportadores de Petróleo
PMI	- Ponto Morto Inferior
PMS	- Ponto Morto Superior
Proálcool	- Programa Nacional do Alcool
PROCONVE-	Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
PTFE	- Politetrafluoretileno
PVC	- Policloreto de Vinila
Q	- Calor
R-CHO	- Aldeídos
SO <sub>x</sub>	- Óxido de enxofre
Sp	- Temperatura medida no ponto determinado
VC1	- Volume de Controle 1
VC2	- Volume de Controle 2
VC3	- Volume de Controle 3
VC4	- Volume de Controle 4
VC5	- Volume de Controle 5
W	- Trabalho

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	18
1.1. APRESENTAÇÃO .....	18
1.2. JUSTIFICATIVA .....	20
1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	23
2.1. COMBUSTÍVEIS .....	23
2.1.1. Gasolina .....	24
2.1.2. Etanol .....	24
2.1.3. GNV – Gás Natural Veicular .....	27
2.1.4. Diesel .....	28
2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA .....	29
2.2.1. Motor de Ciclo Otto .....	29
2.2.2. Motor de Ciclo Diesel .....	30
2.2.3. Motor Wankel .....	31
2.3. EMISSÕES VEICULARES .....	32
2.3.1. Material Particulado (MP) .....	33
2.3.2. Monóxido de Carbono (CO) .....	34
2.3.3. Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	35
2.3.4. Óxido de Enxofre (SO <sub>x</sub> ) .....	35
2.3.5. Hidrocarbonetos (HC) .....	36
2.3.6. Óxido de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	37
2.3.7. Aldeídos (R-CHO) .....	37
2.3.8. Limites de emissões veiculares .....	38
2.4. ÁGUA – H <sub>2</sub> O .....	39
2.4.1. Ciclo Hidrológico .....	40
2.4.2. Água no mundo .....	41
2.4.3. Água no Brasil .....	42
2.5. APROVEITAMENTO DO H <sub>2</sub> O PROVENIENTE DA COMBUSTÃO INTERNA DE COMBUSTÍVEIS .....	44
2.5.1. Sistema de cogeração de produção de água e gás carbônico a partir de emissão veicular e dessalinização de água salobra .....	46
2.5.2. Separação da Água dos Demais Componentes da Emissão .....	49
2.5.3. Aproveitamento do Potencial Mecânico do Motor de Combustão Interna .....	50
2.5.4. Tratamento de Resíduo de Sal Proveniente da Evaporação da Água Contida no Solo Semiárido .....	51
2.6. DESAFIOS ATUAIS .....	52
2.7. OBJETIVOS .....	53

2.7.1. Objetivo Geral .....	53
2.7.2. Objetivos Específicos .....	53
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	54
3.1. EXPERIMENTOS .....	54
3.1.1. Procedimento experimental de confirmação da produção de água em automóveis.....	54
3.1.2. Procedimento experimental de confirmação da produção de água em geradores.....	56
3.1.3. Medição de água por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	57
3.1.4. Equipamentos utilizados .....	58
3.2. ANÁLISE TERMODINÂMICA .....	60
3.2.1. Equações de Combustão .....	60
3.2.2. Produção de Água.....	63
3.2.3. Balanço de energia do sistema de cogeração .....	70
3.2.4. Sistema de cogeração otimizado com reaproveitamento de energia eletroquímica .....	78
3.3. ANÁLISE DE INCERTEZAS .....	80
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	83
4.1. RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS .....	83
4.1.1. Trocador de calor de PVC instalado em motor de automóvel.....	83
4.1.2. Trocador de calor instalado em um gerador à gasolina .....	84
4.1.3. Identificação de água na emissão a partir de análise em banco de motores medidos por FTIR .....	88
4.1.4. Estufa de cogeração de produção de gás carbônico, água e energia elétrica. 91	
4.2. DISCUSSÃO.....	92
4.2.1. Produção de água nos experimentos realizados .....	92
4.2.2. Viabilidade da implementação da estufa de cogeração de energia e produção de água e gás carbônico.....	93
5. CONCLUSÕES.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95
APÊNDICE .....	100
ANEXO.....	104

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NO PAÍS DE 1961 A 2007. ....	42
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA A SER ESTUDADO PARA A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO E A INJEÇÃO DE CO <sub>2</sub> . ....	47
FIGURA 3 - IMAGEM TÉRMICA DA SAÍDA DE GÁS NO GERADOR. ....	48
FIGURA 4 - SUPERFÍCIE SUPERHIDROFÓBICA ASPERGIDA POR POLITETRAFLUORETILENO PTFE 30. ....	50
FIGURA 5 - DIAGRAMA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE ÁGUA SALOBRA E ÁGUA NORMAL. ....	52
FIGURA 6 - PROTÓTIPO DE TROCADOR DE CALOR DE PVC. ....	55
FIGURA 7 - INÍCIO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO PROTÓTIPO DE PVC. ....	55
FIGURA 8 - EXPERIMENTO PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA A PARTIR DE UM GERADOR ELÉTRICO. ....	57
FIGURA 9 - CONFIGURAÇÃO DE ENSAIO EM VEÍCULO OTTO E DIESEL COM USO DO FTIR. ....	58
FIGURA 10 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DA GASOLINA EM MISTURA POBRE. ....	64
FIGURA 11 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DA GASOLINA EM MISTURA POBRE SEM GÁS NITROGÊNIO. ....	65
FIGURA 12 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DO ETANOL EM MISTURA POBRE SEM GÁS NITROGÊNIO. ....	66
FIGURA 13 - IMAGEM TERMOGRÁFICA DA SAÍDA DO ESCAPAMENTO DO GERADOR. ....	69
FIGURA 14 - ESCAPAMENTO DO GERADOR. ....	69
FIGURA 15 - SISTEMA A SER ESTUDADO PARA A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO E A INJEÇÃO DE CO <sub>2</sub> DIVIDIDO EM VOLUMES DE CONTROLE PARA ANÁLISE DO BALANÇO DE ENERGIA. ....	71
FIGURA 16 - VOLUME DE CONTROLE 1 – MOTOR A COMBUSTÃO. ....	73
FIGURA 17 - VOLUME DE CONTROLE 2 – RESFRIADOR DE AR. ....	75
FIGURA 18 - VOLUME DE CONTROLE 3 – BOMBA DE SUCÇÃO DE ÁGUA SALINIZADA. ....	76
FIGURA 19 - VOLUME DE CONTROLE 4 – DESSALINIZADOR. ....	77
FIGURA 20 - VOLUME DE CONTROLE 5 – FILTRO SEPARADOR DE ÁGUA. ....	78
FIGURA 21 - SISTEMA DE COGERAÇÃO OTIMIZADA COM GERADOR ELETROQUÍMICO. ....	79
FIGURA 22 - LÍQUIDO OBTIDO NO ESCAPAMENTO DE UM AUTOMÓVEL. ....	83
FIGURA 23 - (A) IMAGEM TERMOGRÁFICA DO GERADOR EM TESTE. (B) GERADOR EM TESTE. ....	84
FIGURA 24 - (A) IMAGEM TÉRMICA DO TROCADOR DE CALOR. (B) TROCADOR DE CALOR. ....	85
FIGURA 25 - (A) IMAGEM DA SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR, TEMPERATURA DO LÍQUIDO NA SAÍDA. (B) SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR. ....	86

FIGURA 26 - CROMATOGRAFIA DO INÍCIO DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO .....	87
FIGURA 27 - CROMATOGRAFIA, DA FASE INTERMEDIÁRIA, DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO .....	87
FIGURA 28 - CROMATOGRAFIA, DA FASE FINAL, DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO .....	88
FIGURA 29 - PORCENTAGEM DE VAPOR DE ÁGUA PRODUZIDO A CADA INSTANTE NA EMISSÃO DE COMBUSTÃO DE GASOLINA .....	89
FIGURA 30 - MEDIÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA NA EMISSÃO A CADA 100 SEGUNDOS.....	89
FIGURA 31 - VOLUME DE GASES PROVENIENTE DA EMISSÃO VEICULAR.....	90



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VENDA DOS AUTOMÓVEIS DE 1975 A 1996, GASOLINA E ETANOL.	26
TABELA 2 - LIMITES DE EMISSÕES PARA VEÍCULOS LEVES.	38
TABELA 3 - CICLO X REGIME PARA MISTURA AR COMBUSTÍVEL.	63
TABELA 4 - EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO DA GASOLINA PARA MISTURA POBRE.	64
TABELA 5 - RELAÇÃO A/C E A CORRESPONDENTE PARA CÁLCULO DE MISTURA EM MOTORES À GASOLINA.	66
TABELA 6 - EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO DE ETANOL PARA MISTURA POBRE.	66
TABELA 7 - PROPORÇÃO DE OCTANA E ETANOL PARA CÁLCULO DE PROPORÇÃO MOLAR.	67
TABELA 8 - PROPORÇÕES DE A/C PARA MISTURAS EM COMBUSTÍVEL E25.	68
TABELA 9 - QUANTIDADE DE ÁGUA PRODUZIDA NA COMBUSTÃO DE GASOLINA COMERCIAL E25.	68
TABELA 10 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NO SISTEMA DE COGERAÇÃO.	91

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO

O meio ambiente está cada vez mais devastado pelo homem, a cada dia são maiores as estatísticas mostrando o quanto fauna e flora estão sendo reduzidas em nome do desenvolvimento. As indústrias, muitas vezes, só respeitam as leis ambientais quando são multadas. Mas nos dias de hoje não são somente pessoas com vidas alternativas que se preocupam em preservar o planeta. A ciência e a tecnologia estão cada dia mais avançando em prol de auxiliar o desenvolvimento sustentável, e tornar o mundo um lugar melhor para se viver.

Às vezes quando se muda o ponto de vista sobre determinado assunto é possível observar detalhes que passaram despercebidos pela maioria das pessoas.

Os combustíveis que movem os automóveis no mundo transformam-se em gases, sendo alguns nocivos ao meio ambiente e ao ser humano. Essa é uma afirmação comum ouvida e dita todos os dias por ambientalistas e cientistas em todo mundo. No entanto, ao analisar as emissões veiculares, observa-se que existe uma substância emitida que fará muita falta no futuro e que comumente é desconsiderada: a água, cientificamente mais conhecida como  $H_2O$ . Segundo Filizola (2005) alguns dos principais produtos da combustão em veículos automotores são: dióxido de carbono ( $CO_2$ ), água ( $H_2O$ ), monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não ou parcialmente oxidados (HC), aldeídos (R-CHO), óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e material particulado (MP). Emitida em estado de vapor para a atmosfera por conta da temperatura final da queima de combustíveis em motores de combustão interna, seja no ciclo Otto ou no ciclo Diesel, essa “água” modifica toda análise de impacto ambiental mundial.

Ao utilizar um automóvel em uma atividade cotidiana, converte-se o combustível de todo o percurso em que o carro estará com o motor ligado em emissões veiculares bastante conhecidas. No entanto todos os estudos sempre são voltados para o que pode prejudicar as pessoas e o meio ambiente, deixando sempre de lado a questão da umidade ( $H_2O$ ) que é um dos principais produtos que passam pelo catalisador, junto com o  $CO_2$ , substância igualmente importante para a conservação da vida. Segundo o Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1.999, que “dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às condutas e atividades

lesivas ao meio ambiente”, verifica-se a necessidade da utilização do catalisador como elemento de conversão de produtos nocivos à saúde e ao ambiente. Assim, o produto da combustão de combustíveis automotores torna-se cada vez menos agressivo, ou seja, elementos comuns na natureza, que são gás carbônico, água e gás nitrogênio, todos aceitáveis nos processos de conversão e utilização pela natureza como fotossíntese, por exemplo.

Por Salomon (2003) os motores de combustão interna são extensamente usados, sua finalidade é produzir trabalho pela força de expansão resultante da queima da mistura de ar com combustível, no interior de cilindros fechados, como todo equipamento térmico transforma a energia química do combustível em trabalho mecânico. Estes ciclos são divididos em motores de ignição por centelha, ou Otto e de ignição por compressão, ou Diesel. Podem ser de dois ou quatro tempos. Nos motores de ciclo Otto, a mistura ar/combustível é admitida na câmara de combustão e inflamada por meio de uma vela de ignição. Já no motor Diesel (ciclo Diesel), o ar é admitido na câmara de combustão e comprimido até uma pressão suficiente para que ocorra a combustão espontânea quando o combustível for injetado.

Não somente a combustão nos motores automotivos, mas toda combustão cujo combustível possui hidrogênio como um dos elementos de formação produz água. O conhecimento da existência desta substância e, conseqüentemente o aproveitamento desta água, será investigado neste estudo. Algumas ideias são possíveis, mas pouco aplicadas nos meios tecnológicos: reverter a água proveniente da queima de gás natural em usinas termoelétricas para reaproveitamento no próprio ciclo térmico do processo de vaporização que move as turbinas geradoras de energia; utilização da água da queima de combustível nos automóveis para auxílio na refrigeração do motor; nos motores de ciclo Diesel em caminhões, aproveitamento desta água para situações gerais como lavagem da carroceria ou utilização em banheiros; em navios, onde água potável é um produto caro, o aproveitamento da água produzida para inúmeros serviços de limpeza. Há realmente muitos projetos que podem ser desenvolvidos, motivados pelo potencial de aplicação de um bem tão escasso.

A água gerada na combustão será aliada a produção de  $\text{CO}_2$  que é fundamental para o cultivo de alimentos, e aplicar a emissão de um motor de combustão interna tipo gerador usado para produzir calor ou frio, em estufas de produção de plantas aproveitando efetivamente a produção de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  na

absorção e crescimento do cultivo, em um sistema de cogeração de energia com salinizador de extração de água salobra no caso de regiões pertencentes ao semiárido brasileiro.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Muito pouca atenção tem sido dada a umidade (vapor de água) formada na reação de combustão. Observando ao longo de todo estudo nessa área nota-se que este dado não é citado como uma informação relevante, sempre tratando a umidade como um subproduto descartável. Despreza-se sua presença por não provocar nenhum efeito a mais na atmosfera a qual é destinada. Informação tal que não é nova, e estudada desde o ensino fundamental nas grades curriculares normais de Química. A quantidade através das análises pelas equações estequiométricas tanto para misturas teóricas quanto reais, onde o ar substitui a queima ideal com somente o gás oxigênio, é suficiente e deve ser considerada como produto de queima, pois este vapor de água pode alterar alguns fatores de umidade relativa do ar em grandes cidades, principalmente as que possuem grandes frotas veiculares.

Quando a água é citada em estudos como produto da queima dos combustíveis, aparece como Pimentel *et al.* (1997) citou em seu modelo químico para a troposfera poluída por veículos movidos a álcool onde exclui a  $H_2O$  produzida por ser de menor importância conforme sua análise de sensibilidade.

As emissões veiculares são grandes responsáveis pela poluição, principalmente urbana, atual. Muitos estudos estão voltados para esta área, de acordo com Jacondino (2005) a preocupação das autoridades com a questão ambiental é recente principalmente em função do crescente aumento da pressão pública para que governos e empresas implementem planos contingenciais.

A quantidade de emissões depende de vários fatores, para Faiz *apud* Jacondino (2005), são três, os principais fatores, que afetam a quantidade de poluentes emitidos pelo tráfego rodoviário: (i) as características dos veículos e dos combustíveis utilizados, principalmente o tipo e tecnologia dos motores e a presença de dispositivos de controle de emissões (catalisadores); (ii) as características da frota utilizada, que consistem na sua diversidade (número e tipos de veículos) e seu

perfil de idade; (iii) as características na operação, que se constituem nos padrões de utilização dos veículos e do grau de congestionamento e controle de tráfego.

Elementos poluentes consequentes da emissão são, segundo Schäfer (1995), 1,1% das emissões totais, sem considerar a presença do catalisador no automóvel. O restante disto são  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$  e Ar, todos os elementos que fazem parte do ciclo natural de respiração dos seres.

Para baixas temperaturas de queima têm-se reações que favorecem a formação da água, predominam as reações de ação de adição do oxigênio. Desta forma, têm-se como formação os gases comuns dos tipos de queima associada à maneira como os motores serão utilizados.

Estudar um meio que viabilize a utilização dessa água de forma efetiva e eficiente é a finalização deste estudo, bem como aproveitar a energia do motor que gerará esta combustão aproveitando a possibilidade de autonomia deste equipamento, pois se trata de um gerador de energia que não depende de outra fonte que não seja o combustível do próprio consumo. Em um país de dimensões continentais como o Brasil esta é uma vantagem considerável comparado a outros meios de energia.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O desenvolvimento deste trabalho está organizado por meio de capítulos, onde o Capítulo 1 mostra a motivação inicial e observações que levaram a autora ao desenvolvimento da proposta desta dissertação. Mostrando as vantagens gerais da água gerada na combustão.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica que abrange primeiramente os tipos de combustíveis, tipos de motores e emissões veiculares e seus efeitos. Depois a importância da água para o ser humano e a natureza e seus maiores problemas relativos à escassez. E por último as possibilidades de utilização da água proveniente da emissão em motores de combustão interna.

O Capítulo 3 descreve a metodologia desenvolvida para confirmação da proposta de produção de água a partir da emissão, matematicamente e experimentalmente.

O Capítulo 4 apresenta uma análise dos resultados experimentais e numéricos.

A partir dos resultados a conclusão será apresentada no Capítulo 5 incluindo as sugestões para trabalhos futuros.

No Apêndice encontram-se as análises térmicas utilizadas no trabalho.

No Anexo encontra-se o algoritmo que auxilia na modelagem da estufa de cogeração.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1.COMBUSTÍVEIS**

Desde a criação dos motores de combustão interna a partir do comportamento de alguns componentes químicos suficientes para um alto deslocamento de ar, e assim, uma alteração de pressão suficiente para deslocar com eficiência um braço de alavanca, verifica-se a necessidade de descobrir e desenvolver o combustível mais eficiente para esses motores. Mas o que é um combustível eficiente?

O processo de queima segundo Taylor (1976) é que a combustão das misturas ar - combustível depende das reações em cadeia, nas quais uns poucos constituintes altamente ativos provocam reações que geram constituintes ativos adicionais em adição aos produtos finais, multiplicando assim o número de reações até que a combustão seja completa (até o equilíbrio), ou até um ponto em que as reações de destruição de cadeias sejam mais forte que as de formação de cadeias.

A obtenção de combustíveis para motores automotivos é um assunto de grande interesse para a sociedade, sejam por causas políticas, econômicas, tecnológicas ou ambientais. Sabe-se que principalmente esses três fatores favoreceram ao longo de décadas muitas divergências, e algumas guerras, para obtenção do precioso petróleo. No entanto esse estudo será focado na parte tecnológica e ambiental, mostrando a diversidade de desenvolvimento a partir de combustíveis fósseis comuns, e a grande saída brasileira de criar o Etanol a partir da cana-de-açúcar como um recurso alternativo em uma época de crise mundial.

Ainda de acordo com Taylor (1976) os motores de combustão interna podem ser operados com vários tipos diferentes de combustíveis, incluindo materiais líquidos, gasosos ou mesmo sólidos. O caráter do combustível usado pode ter considerável influência sobre o projeto, potência, eficiência, consumo e, em muitos casos, confiabilidade e durabilidade do motor.

### 2.1.1. Gasolina

Através de um processo denominado de destilação, em que o óleo bruto é aquecido em diferentes temperaturas, obtêm-se inúmeros de seus derivados, dentre eles a gasolina, o óleo combustível, o diesel e a nafta.

Os combustíveis provenientes de elementos como carbono e hidrogênio, sejam eles líquidos e gasosos, provêm na realidade de uma mistura de vários hidrocarbonetos diferentes. Por Wylen (1995), a gasolina é constituída por uma mistura de cerca de 40 hidrocarbonetos diferentes e com traços de muitos outros. No entanto Côcco (2003) em um estudo envolvendo redes neurais artificiais para definir a composição química da gasolina verificou mais de 500 componentes na gasolina sendo 65 deles identificáveis.

Para uma análise teórica mais aproximada precisa-se de uma estrutura definida, então convencionalmente usa-se o iso-octano  $C_8H_{18}$ , que é a molécula predominante na gasolina (HEYWOOD, 1988).

Segundo Turns (2013) a gasolina convencional é constituída de 62% de iso-octano ( $C_8H_{18}$ ), 20% de etanol ( $C_2H_5OH$ ) e 18% de *n*-heptano ( $C_7H_{16}$ ) sendo todos os valores em volume líquido. No entanto esta é a gasolina padrão europeia. Por isto mantêm-se a convenção anterior de iso-octano puro.

Posteriormente será estudada a queima de gasolina tradicional com mistura permitida pela Portaria nº143, de 27 de junho de 2007, que estabelece no art. 1º “fixar em vinte e cinco por cento o percentual obrigatório de adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina”, mistura conhecida também como gasool ou E25. A Resolução da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) nº 40 de 25 de outubro de 2013 reafirma esta proporção.

### 2.1.2. Etanol

O etanol é um composto químico originado da fermentação da glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ), proveniente da cana-de-açúcar, que se torna etanol ( $C_2H_5OH$ ) e  $CO_2$ . O microorganismo responsável por essa reação é um fungo denominado *Saccharomyces Cerevisiae*.



Há dois tipos de álcool formados: o álcool anidro ou etanol que é constituído de alto grau de pureza, ou seja 99,3° INPM – Instituto Nacional de Pesos e Medidas (porcentagem de álcool em peso relativo a proporção em água) usado para mistura com a gasolina tipo A formando a gasolina C consumida no Brasil e nas indústrias de solventes e tintas; e o álcool hidratado ou etanol hidratado com um grau de pureza, de 92,6° INPM é usado na indústria química, alimentícia e também como combustível sem mistura.

O etanol é considerado um combustível ecológico por ter menor produção de gases de emissões nocivas, principalmente por não produzir SOx e NOx em quantidade contaminante, apesar dos questionamentos sobre produzir combustíveis a partir de alimentos, mas forma aldeídos, ácidos e cetonas. A primeira experiência com o álcool etanol extraído da cana-de-açúcar data de 1930, mas somente nos meados dos anos 70 é que esse combustível foi realmente considerado como produto consumível pelo setor de energia devido à crise petrolífera que ocorreu, quando a OPEP, Organização dos Países Exportadores de Petróleo, em 1973 e 1979 elevou o preço do barril do petróleo. Em contrapartida a isso no Brasil, em novembro de 1975, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool) foi criado com o duplo objetivo de deslocar o consumo de gasolina com o álcool combustível e dar maior estabilidade a indústria açucareira (ROPPE, 2005).

Inicialmente o etanol anidro seria utilizado como adicional na gasolina como antidetonante. Depois foi substituindo integralmente a gasolina diminuindo assim a dependência exclusiva da gasolina, e conseqüentemente do petróleo. Ajudando também a indústria açucareira que passava por uma fase de muita variação de preço no mercado, tendo assim um escape de produção para o excedente. Depois a adaptação de motores para o consumo exclusivo de etanol gera, como acreditado na época, a independência do petróleo definitivamente.

Para ajudar o comércio dos carros a etanol houve vários incentivos do governo como garantir que o preço do etanol sempre fosse 65% abaixo do valor de mercado da mesma quantidade de gasolina, o preço do carro a etanol era pelo menos 5% mais barato que o carro a gasolina e o IPVA (Imposto de Propriedade de Veículos Automotores) com valor 3% inferior ao do mesmo modelo de carro a gasolina. No entanto o mercado consumidor em troca exigia uma garantia de fornecimento sem problemas do etanol, pois naquela época o motor não era flexível ainda.

A partir de 1987 por conta de alguns incentivos não cumpridos, o preço do etanol subiu e já não era mais vantajoso ter um carro deste combustível, principalmente por mau dimensionamento dos motores que apresentavam algumas falhas principalmente na partida inicial, pois o etanol não possui o mesmo poder de detonação inicial que a gasolina, com motor funcionando em temperatura menor e dificuldade de combustão nos dias mais frios. Apesar do baixo preço do combustível por litro, seu consumo era muito alto na relação quilômetro/litro, o que era outro fator pouco atrativo para o consumidor, além da cara manutenção dos veículos com este tipo de motor. Assim muitos começaram a optar por voltar ao carro à gasolina como se pode verificar na TABELA 1.

TABELA 1 - VENDA DOS AUTOMÓVEIS DE 1975 A 1996, GASOLINA E ETANOL.

VENDA DE CARROS MOVIDOS A GASOLINA E A ÁLCOOL (1975-1996)			
	Carros a gasolina	Carros a álcool	% de carros a álcool
1975	778.920	0	0
1976	808.729	0	0
1977	748.071	0	0
1978	877.295	0	0
1979	905.706	3.114	0,3
1980	626.467	240.638	27,0
1981	344.428	136.241	28,3
1982	365.399	232.575	38,9
1983	78.610	579.328	88,1
1984	33.481	565.536	94,4
1985	28.653	645.551	95,8
1986	61.915	697.050	91,8
1987	31.190	458.683	93,6
1988	77.312	556.482	88,0
1989	260.821	397.734	60,4
1990	542.740	81.650	13,1
1991	526.479	148.494	22,0
1992	476.351	194.566	29,0
1993	786.421	264.235	25,1
1994	1.134.570	141.870	11,1
1995	1.556.000	40.709	2,5
1996	1.585.000	12.000	0,8

FONTE: Calle & Cortez *apud* Roppa (2005).

Com a falta de combustível, em 1989, muitos carros começaram a fazer a conversão dos motores a etanol para gasolina, apesar do alto custo deste

procedimento. Em maio de 2003 a Volkswagen começou a construir o GOL 1.6 Total Flex. A partir daí, com uma nova tecnologia e soluções para os problemas dos antigos motores, movidos a álcool etanol, como a partida adicionada de gasolina, o carro bicomcombustível alavancou as vendas no mercado. Os carros ditos “flex” são a maioria no país e quando o etanol fica caro a opção de utilizar a gasolina se dá pela conversão automática do motor sem nenhuma intervenção mecânica, basta abastecer com o combustível desejado.

Assim é consolidada a produção e venda de etanol no Brasil.

### 2.1.3.GNV – Gás Natural Veicular

O GNV é o gás natural bem mais leve que os demais combustíveis por seu peso molecular bem inferior, com apenas um carbono e quatro hidrogênios ( $\text{CH}_4$ ). O fator mais importante deste combustível é o pouco resíduo nocivo que ele emite. Muito menos poluente, ele foi, em meados de 1988, bastante referendado como a solução para a substituição do óleo diesel devido a sua baixa emissão. A frota de caminhões em um país continental como o Brasil é, em termos de emissões veiculares, responsável pela produção de muita poluição devido à quantidade de carbono no diesel convertido em  $\text{CO}_2$  e CO. Substituir o motor a diesel por um motor a gás seria uma solução excelente. No entanto dois fatores foram fundamentais para que isto não ocorresse, o alto custo da conversão e o preço da equivalência de gás natural pelo óleo diesel semelhante tornaram a conversão pouco atrativa para os usuários de veículos movidos por motores a diesel. Outro ponto importante era a falta de postos adaptados a esse combustível para fácil abastecimento em todo o país.

A opção tornou-se viável então para carros de passeio comuns que têm alta circulação, desde a Resolução nº15 do PROCONVE (Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores) de 13 de dezembro de 1995 estabelece a liberação para automóveis de frotas de empresas e táxis, pois as diferenças de preço entre o gás natural e a gasolina compensavam a conversão, além do fato que nas grandes cidades já existiam postos preparados para esse tipo de combustível. No entanto veículos pesados não podem utilizar este tipo de combustível por

precisar de tanques com tamanhos muito grandes. Assim fica consolidada a presença do GNV no país.

#### 2.1.4. Diesel

Movido por motores com ciclo diferentes dos carros comuns de passeio, a característica principal do óleo diesel é que ele explode somente com a compressão no motor não precisando de centelha para ocorrer a combustão. Assim imprime aos veículos desta característica muita força e torque, excelente para veículos de grande carga como ônibus e caminhão.

Segundo Braun (2003) o diesel é um combustível derivado do petróleo constituído por, predominantemente, hidrocarbonetos alifáticos contendo de 9 a 28 átomos de carbono na cadeia.

O diesel possui muito mais carbono que a gasolina e o etanol, e sua capacidade de autoignição não é medida por octanas como a gasolina e sim por cetanas.

Por Turns (2013) o óleo Diesel é definido por uma mistura de 36,5% de *n*-Hexadecano ( $C_{16}H_{34}$ ), 24,5% de iso-octano ( $C_8H_{18}$ ), 20,4% de *n*-propilciclohexano e 18,2% de *n*-propilbenzeno. O composto deste estudo será o  $C_{16}H_{34}$  que é o óleo diesel médio, pois existem vários compostos deste combustível.

Nos dias de hoje pelo baixo preço do diesel no mercado, muitos carros de passeios, baixa potência, está-se utilizando este tipo de motor, o que aumentou a quantidade de emissões veiculares principalmente porque este combustível possui de 0,1% a 0,5% de teor de enxofre (BRAUN, 2003). A produção de SO<sub>x</sub> proveniente da presença do enxofre é bem maior que na de carros comuns movidos somente por gasolina.

A partir de 2008 a legislação torna obrigatório o uso de biodiesel como mistura para o diesel comum com o intuito de assim reduzir a poluição reaproveitando outros tipos de óleo que se não fossem transformados em diesel, seriam descartados na natureza podendo poluir rios e mares. Segundo o MME – Ministério de Minas e Energia a partir de 18 de maio de 2012 estabelece a quantia de 5% de biodiesel a ser adicionado ao óleo Diesel em volume.

A importância maior do estudo deste composto neste trabalho é a quantidade de hidrogênio superior a qualquer outro combustível comum no mercado. Sabe-se então que quanto maior a quantidade de hidrogênio contida no combustível, maior será a produção final de água nos produtos da queima.

## 2.2. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

A transformação de energia é a principal característica de evolução do homem desde a descoberta do fogo e a criação da roda.

Desde o motor a vapor utilizado nos grandes navios e trens era um sonho do homem poder se deslocar de forma eficiente e individual. Assim ao longo de muito estudo e evolução chegou-se aos motores de combustão interna, com os ciclos Otto e Diesel, a realização da invenção do automóvel.

O próprio motor evoluiu muito desde sua criação até os tempos de hoje, mas a essência básica do seu funcionamento permanece a mesma. Trata-se de um combustível inflamável que adicionado a um comburente e com alterações de calor ou de pressão ocorre uma explosão em um cilindro confinado e a partir da força desta combustão é provocado o deslocamento de um pistão que transformará a força deste movimento em torque e rotação de um eixo ligado a um par de rodas. Retorna-se ao fogo e à roda, combinados há o carro, convertendo energia térmica em energia mecânica.

### 2.2.1. Motor de Ciclo Otto

Conhecido também como ciclo de 4 tempos: admissão, compressão, explosão e descarga.

A admissão ocorre com deslocamento do pistão do PMS (ponto morto superior) para o PMI (ponto morto inferior) aspirando o combustível misturado com o ar anteriormente, no carburador ou por injeção eletrônica, preparado para a queima. Esta mistura depende da aceleração do veículo, podendo ser rica, pobre ou estequiométrica. Para que essa entrada de combustível ocorra nesta etapa tem-se a

válvula de admissão completamente aberta e a válvula de descarga totalmente fechada.

Na compressão o pistão retorna ao PMS por inércia de movimento do virabrequim e comprime a mistura preparando-a para a queima. Neste ponto as duas válvulas estão totalmente fechadas.

Existe um dispositivo chamado de vela de centelha que libera uma faísca ativando a explosão no terceiro tempo, que em alta pressão, e velocidade, empurra o pistão novamente para o PMI e queima o combustível transformando-o nos gases de combustão que darão origem à emissão veicular. A potência dessa explosão dá energia de movimento para o giro da biela até o próximo ciclo. Esta etapa também ocorre com as válvulas totalmente fechadas.

No retorno do pistão do PMI ao PMS, pela inércia da expansão, os gases produtos da queima são expelidos com a abertura da válvula de descarga. Esta etapa é a descarga, finalizando então o quarto tempo e o fim do ciclo.

Este tipo de motor encontra-se com maior facilidade nos veículos de passeio, utilizando gasolina ou etanol como combustível. Varia-se muito o tamanho do cilindro, imprimindo assim a característica chamada cilindrada. Quanto maior a cilindrada de um carro, maior a quantidade de combustível inserida no pistão, maior a potência de explosão, maior velocidade de deslocamento do pistão e maior o consumo de combustível. Consequentemente maior a quantidade de gases de emissão final.

### 2.2.2.Motor de Ciclo Diesel

Este ciclo possui características mais simplificadas, pois o óleo diesel devido a sua capacidade de explosão sem fagulha não necessita de faísca para sua queima. Sendo necessária só a compressão para a explosão completa do combustível. O ciclo diesel pode ser de 4 tempos e também em ciclo de 2 tempos. Sendo o primeiro utilizado em motores automotivos, principalmente em cargas pesadas e o segundo em motores de motos e também estacionários como geradores e pequenos motores de equipamentos movidos à combustão.

As 2 etapas do ciclo de 2 tempos são: admissão e descarga, compressão e explosão.

No primeiro tempo ocorre a admissão por uma câmara independente da saída onde os gases de escapamento estão saindo por descarga, esta separação ocorre por uma disposição geométrica do cilindro com o pistão e com as entradas. Diferente da gasolina e do etanol, o diesel é inserido dentro do cilindro por meio de um bico injetor próprio para pulverização deste combustível.

Na segunda etapa, segundo tempo, ocorre à compressão do combustível e consequentemente a explosão do mesmo deslocando em alta velocidade o pistão e gerando a inércia necessária para o movimento de todo o motor.

Por ter um processo mais simplificado, o torque gerado por esse tipo de motor é bem maior que o do motor convencional Otto, assim é amplamente utilizado em veículos de transporte de grande carga.

O motor ciclo Diesel a 4 tempos possui fases semelhantes ao ciclo Otto, a diferença é que na fase de explosão o óleo Diesel não necessita de uma centelha de faísca para iniciar a queima do combustível. Neste caso somente a compressão já atinge pressão suficiente na mistura ar/combustível para iniciar a explosão no cilindro.

As 4 etapas são: admissão, compressão, injeção de Diesel/explosão e exaustão.

### 2.2.3.Motor Wankel

Também conhecido como motor rotativo de deslocamento, este tipo de motor possui três câmaras formadas por uma peça triangular interna, ligada em seu centro por meio de engrenagem que tem relação direta com o eixo de transmissão. O problema maior deste motor é a vedação entre as câmaras apesar dos fabricantes de hoje garantirem que este problema está plenamente resolvido.

A leveza adquirida por menos material para fabricação, menos volume ocupado, alta potência gerada e relação de consumo maior são as grandes vantagens que garantem o futuro desses motores na indústria automotiva. O custo da sua produção ainda é muito alto, mas o estudo de materiais mais econômicos pode mudar em pouco tempo a presença deste tipo de motor no mercado comum.

## 2.3. EMISSÕES VEICULARES

A invenção do automóvel promoveu para o mundo uma grande evolução em um momento que eram as distâncias que limitavam o crescimento comercial mundial. Para transportar qualquer produto utilizava-se trem ou navio, e por terra carroças ou lombos de burros no interior, onde tudo era inacessível. Por muito tempo foram os tropeiros e os caixeiros viajantes, como eram conhecidos os comerciantes, é que levavam as novidades para os lugares sem acesso dos barcos ou locomotivas.

O carro veio inicialmente com pouca força, pois seu custo era muito alto e somente quem tinha muito poder aquisitivo tinha capacidade de comprá-lo. Depois se notou a necessidade da sua utilização para diminuir o tempo entre grandes distâncias, assim os automóveis tornam-se peças fundamentais para o progresso do país.

Com a virada do século XX o cenário torna-se outro, o carro torna-se um bem acessível e fundamental para os dias de hoje, principalmente nas grandes cidades. A pouca poluição gerada no começo do século passado transforma-se em um verdadeiro problema devido às proporções da quantia de carros hoje. Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB *apud* Filizola (2005) os veículos automotores são responsáveis pelas proporções existentes na atmosfera, das substâncias a seguir, demandadas pelas emissões. A quantia é de 83,2% de CO, 81,4% de HC, 93,6% de NOx, 38,9% de MP e 53% de SOx na Região Metropolitana de São Paulo. Desta maneira pode-se ver que a quantidade de poluição emitida pelos automóveis é sim responsável por grande parte da poluição atmosférica, principalmente em grandes cidades onde há grande quantidade de automóveis.

Cada um desses componentes isolados tem propriedades nocivas suficientes para prejudicar qualquer ser humano, independente de sua idade ou seu estado de saúde. Combinados tornam-se uma bomba gasosa letal que respiramos todos os dias. Por isso anualmente são revistas as porcentagens de gases permitidos para liberação na atmosfera. O controle fica cada vez mais rígido para que o ar continue respirável, tornando desta maneira a busca por combustíveis



menos poluentes uma necessidade de mercado, e não mais uma atitude comum somente aos estudiosos ecologistas e de áreas do gênero.

Será estudado cada componente poluidor regulamentado e os principais efeitos no ser humano, que está em contato direto no momento em que circula, junto com os veículos, nessa atmosfera atingida pelos poluentes automotivos.

Segundo Braun (2003) os compostos de emissões, tanto dos motores à diesel quanto à gasolina ou de combustíveis mistos, podem ser classificados em dois tipos: os que não causam danos à saúde, ou seja,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$ ; e os que apresentam perigos à saúde, sendo estes subdivididos em compostos cuja emissão está regulamentada, que são: CO, os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), os óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e o material particulado (MP10); e aqueles que ainda não estão sob regulamentação: aldeídos, amônia, benzeno, cianetos, tolueno e hidrocarbonetos polinucleares aromáticos (HPA).

Citando Porfírio (2008) alguns poluentes que participam de fenômenos atmosféricos são também considerados como componentes naturais da atmosfera. Isto porque quando a origem da substância é natural não se fala em poluente, uma vez que a própria natureza se adaptou a esta substância e tem mecanismos para retorná-lo a forma original, mantendo desta forma um equilíbrio.

Neste capítulo será dada ênfase aos produtos nocivos principalmente para enfatizar que apesar da informação final de produção de água pelos motores de combustão interna ser uma notícia bastante positiva tem-se, sempre, que ser priorizada a proteção ao meio ambiente.

Os agentes poluidores mais conhecidos, alguns pela simples constituição, outros por sua produção em excesso serão discutidos a seguir.

### 2.3.1. Material Particulado (MP)

É um conjunto de poluentes que podem ser encontrados suspensos no ar como poeira, fumaça e material sólido ou líquido de tamanhos pequenos. São originados, principalmente, nas emissões veiculares provenientes da combustão. Muitos são formados depois da emissão quando o  $SO_x$ ,  $NO_x$ , e os COVs (compostos orgânicos voláteis) entram sofrem reações químicas com produtos contidos no ar.

Quando se fala MP10 trata-se de partículas inaláveis, pois o número 10 determina o tamanho do particulado em diâmetro aerodinâmico medido em micrômetros ( $\mu\text{m}$ ), assim MP10 significa material particulado com diâmetro mínimo de 10  $\mu\text{m}$ , e a importância deste dado é que partículas menores que 10 entram nos alvéolos pulmonares prejudicando-os permanentemente, enquanto as partículas maiores são retidas pelo sistema respiratório que consegue eliminá-las com mais facilidade.

As Partículas Totais em Suspensão (PTS) têm um limite maior de diâmetro aerodinâmico, 50  $\mu\text{m}$ . Sendo menor que 10  $\mu\text{m}$  são nocivas com já foi explicado, e sendo maior que este valor as PTS afetam na qualidade de vida e interferem na aparência do ambiente.

A fumaça (FMC) é medida pela refletância da luz incidida na poeira coletada por filtro, este parâmetro está ligado à medida de fuligem do ar.

A exaustão de MP é medida por emissão de partículas, o que não demonstra o real teor de periculosidade apresentadas por elas. (PERRONE, 2014)

Os principais efeitos dos MP, PTS e da fumaça à saúde são os problemas provenientes de sua inalação, problema pulmonares sérios como bronquite, asma, problemas na faringe e até mesmo câncer pulmonar.

Nos motores de ciclo Otto a emissão de MP é insignificante, oposto aos motores de ciclo Diesel, onde é gerada grande parte deste material (JACONDINO, 2005).

A utilização de filtros cada vez mais específicos tem diminuído bastante a eliminação do MP pelo motor, pois essas partículas ficam retidas diminuindo muito sua emissão para o ar.

### 2.3.2. Monóxido de Carbono (CO)

A emissão de CO é produto da oxidação parcial do carbono em função da qualidade da mistura, da temperatura do motor e da quantidade de  $\text{O}_2$  disponível no momento da queima (MANZOLLI, 2008).

Esta oxidação parcial ocorre pela grande quantidade de carbono, em relação à quantidade de oxigênio, proveniente do combustível. A formação mais comum na

queima é a de  $\text{CO}_2$ , mas na mistura rica, com menos ar do que o ideal na queima estequiométrica, a formação de CO é comum.

Pelo Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores – PROCONVE (2011) a quantidade de CO que pode ser produzido por veículos leves é de 1,30 g/km. Valor determinado a partir de 1º de janeiro de 2014. Desta maneira os veículos deverão ser cada vez melhor regulados para prevenir que o monóxido de carbono seja produzido em quantidade nociva ao meio ambiente.

As consequências da inalação de CO em alto nível de exposição são, segundo EPA *apud* Taco (2005), irritação nos olhos, redução da capacidade de trabalho, redução de destreza manual e dificuldade de realizar tarefas complexas. O efeito no corpo humano é o transporte de monóxido de carbono em vez de oxigênio na hemoglobina, formando a carboxihemoglobina provocando escassez de oxigênio por todo o corpo (PORFÍRIO, 2008).

### 2.3.3. Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )

O dióxido de carbono é um produto da respiração humana e também das plantas. Portanto fundamental para o ciclo de vida, mas o excesso é prejudicial à saúde do ser humano. E as produções diárias pelos motores de combustão interna têm contribuído para a nocividade do  $\text{CO}_2$ .

Principal produto da combustão completa dos combustíveis tanto de origem fóssil como vegetal, a sua produção após os anos 70 foi de larga escala, muito superior ao que a natureza poderia absorver.

Segundo Filizola (2005) o dióxido de carbono não é diretamente associado aos efeitos nocivos à saúde humana. O ponto mais crítico da produção em larga escala são os efeitos destes gases no meio ambiente, associado ao efeito estufa.

### 2.3.4. Óxido de Enxofre ( $\text{SO}_x$ )

As emissões das fontes móveis são aproximadamente 35% da emissão de  $\text{SO}_x$  na atmosfera (CETESB, 2006).

Segundo Taco (2006) os óxidos de enxofre são gerados devido à queima de combustíveis, tanto no setor industrial, quanto no setor de transportes,

principalmente pelos veículos movidos a diesel por conta do alto teor de enxofre destes.

Várias complicações na saúde da população podem ser observadas decorrentes da inalação do  $\text{SO}_2$ , principal óxido emitido por motores de ciclo diesel. Nos centros urbanos, regiões metropolitanas e áreas que tem alta circulação de veículos pesados, a exposição a este gás é ainda maior. Segundo a CETESB (2006) os efeitos gerais sobre a saúde são o desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração, pulmão são mais sensíveis ao  $\text{SO}_2$ .

Medidas estão sendo providenciadas para a redução deste gás, a mais importante dela é a mistura de óleo diesel com biodiesel proveniente de várias fontes como óleo de cozinha, gordura de galinha e outras origens.

O uso de óleos transesterificados (biodiesel) em substituição ao óleo diesel de petróleo promove redução das emissões de poluentes a concentração da mesma na atmosfera, visto que a ausência de enxofre em sua composição reduz a emissão de gases de enxofre, material particulado e hidrocarbonetos não queimados. (ROMERO e MIRALLES *apud* REIS, 2013).

#### 2.3.5. Hidrocarbonetos (HC)

Motores que trabalham em altas temperaturas, combustíveis e produtos voláteis são as causas da evaporação e conseqüentemente a emissão de hidrocarbonetos. Há também no produto da queima combustível não queimado ou parcialmente queimado. Isso ocorre por conta da má calibração do motor, ou misturas muito distantes da mistura de ar combustível ideal para uma queima estequiométrica.

De toda emissão produzida pelos combustíveis os hidrocarbonetos ficam na proporção de menos que 2% em volume total (Silva, 2011).

Há hidrocarbonetos extremamente hidrofóbicos e solúveis em etanol que são prejudiciais ao ser humano, e ao meio ambiente. Os mais comuns são os monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, e os policíclicos aromáticos,

também hidrofóbicos, naftaleno, antraceno, fenantreno, etc. (CORSEUIL & FERNANDES, 1999)

Alguns hidrocarbonetos do grupo dos aromáticos polinucleados estão associados ao aparecimento do câncer pulmonar, embora não haja evidência de que as concentrações dos aromáticos, existentes nas áreas urbanas, possam causar o surgimento da doença (DENATRAN, 2006).

É a formação de ozônio consequente de transformações na atmosfera que intensifica este potencial cancerígeno dos HC's.

Segundo Alkurdi *et al* (2013) os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são compostos orgânicos semi-voláteis que surgem quando o vapor da emissão é condensado. E são nocivos, pois possuem propriedades cancerígenas e mutagênicas.

Perrone *et al* (2014) confirma os potenciais cancerígenos causados pelos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e ressalta que eles não são especificadamente regulamentados.

Mesmo sendo uma proporção realmente pequena de emissão desses hidrocarbonetos não queimados, o seu potencial nocivo não pode ser ignorado e deve ser considerado como dado relevante.

#### 2.3.6. Óxido de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

O ar é constituído de gás oxigênio e gás nitrogênio em proporções definidas, ao serem queimados na combustão esses gases reagem e formam outras moléculas, uma delas são os NO<sub>x</sub>. O mais comum está no formato de NO (monóxido de nitrogênio) que ocorre em altas temperaturas e é maior em veículos de motores pesados.

O dióxido de nitrogênio NO<sub>2</sub> provoca aumento da sensibilidade à asma e à bronquite e abaixa a resistência às infecções respiratórias. (CETESB, 2006)

#### 2.3.7. Aldeídos (R-CHO)

Os aldeídos encontrados na exaustão dos motores são formados por reações de oxidação do combustível não queimado no processo de combustão ou

de seus subprodutos, na presença de um agente carburante, o oxigênio (DAEMME, 2012).

Segundo Kumar *et al. apud* Daemme (2012) os aldeídos causam efeitos à saúde humana, incluindo irritações aos olhos, garganta e funções pulmonares.

### 2.3.8.Limites de emissões veiculares

Verificando-se muitas consequências geradas pelos gases nocivos ao ser humano concluí-se que efetivamente algo deve ser feito para reduzir cada vez mais a emissão veicular nociva. A partir de janeiro de 2014, na fase L-6, o PROCONVE determina novos limites para controle de emissão nos diversos tipos de automóveis. A seguir são indicados os limites de emissões dos veículos leves, TABELA 2.

TABELA 2 - LIMITES DE EMISSÕES PARA VEÍCULOS LEVES.

POLUENTES	LIMITES	
	Fase L-5	Fase L-6 <sup>(1)</sup>
	Desde 1º/1/2009	A partir de 1º/1/2014
monóxido de carbono (CO em g/km)	2,0	1,30
hidrocarbonetos (THC em g/km)	0,30 <sup>(2)</sup>	0,30 <sup>(2)</sup>
hidrocarbonetos não metano (NMHC em g/km)	0,05	0,05
óxidos de nitrogênio (NOx em g/km)	0,12 <sup>(3)</sup> ou 0,25 <sup>(4)</sup>	0,08
material particulado (MP em g/km)	0,05	0,025
aldeídos <sup>(3)</sup> (CHO em g/km)	0,02	0,02
emissão evaporativa <sup>(3)</sup> (g/ensaio)	2,0	1,5 <sup>(6)</sup> ou 2,0 <sup>(5)(6)</sup>
emissão de gás no cárter	nula	nula
<p>(1) Em 2014 -&gt; para todos os novos lançamentos A partir de 2015 -&gt; para todos os veículos comercializados</p> <p>(2) Aplicável somente a veículos movidos a GNV;</p> <p>(3) Aplicável somente a veículos movidos a gasolina ou etanol;</p> <p>(4) Aplicável somente a veículos movidos a óleo diesel;</p> <p>(5) Aplicável aos ensaios realizados em câmara selada de volume variável</p> <p>(6) Aplicado a todos os veículos a partir de 1º/1/2012</p>		

FONTE: PROCONVE (2011)

Esta medida visa melhorar a qualidade do ar, ou pelo menos amenizar, considerando o aumento do número de veículos leves produzidos anualmente no Brasil. Segundo pesquisas do Observatório das Metrópoles do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia (INCT, 2013), no final de 2012 o Brasil estava com uma frota total de 76.137.125 veículos automotores.

Com essa grande quantidade de veículos outras emissões não nocivas também são emitidas diariamente. A água proveniente da combustão será o objeto desta pesquisa.

## 2.4. ÁGUA – H<sub>2</sub>O

Elemento essencial à sobrevivência humana a água faz parte de aproximadamente 70% do corpo humano, nas mulheres chega a 75%. A Terra é denominada de planeta azul pela mesma característica. Mas com tanta água porque as pesquisas e a mídia indicam problemas e possível escassez de água potável por todo o mundo? A resposta deste questionamento é simples, porém complexo em sua solução, há muito desperdício de água no planeta em todos os sentidos e chuva em locais que não há necessidade.

Um país como o Brasil usa água potável para descarga de vasos sanitários e limpeza de calçadas. Existe pouco investimento e preocupação no reaproveitamento nas residências. A instalação de cisternas para captação de água da chuva é pouco incentivado. E ainda despeja-se esgoto em rios por todo o país.

Quando se fala em água no mundo lembra-se imediatamente da África, região que é exaustivamente exposta com cenas chocantes sobre secas e óbitos consequentes de desidratação. Os rios Tâmis, na Inglaterra, e o Sena, na França, foram durante anos esgotos a céu aberto, mas a realidade deles vem mudando ao longo dos anos pela crescente preocupação com sua qualidade, e investimento para torná-los novamente límpidos.

Esta pouca preocupação com a preservação deste recurso tão importante ocorreu durante muitos anos porque a água era considerada inesgotável, além de correr nos rios em abundância, pela evaporação ela precipitava-se em forma de chuva. Então para que preocupar-se? Levando em consideração a grande expansão

da tecnologia no mundo, principalmente as emissões veiculares e produção de energia, vários elementos contaminantes ajudam na produção de chuvas ácidas, o que transforma a água da umidade do ar em substância nociva também. Ao precipitar-se contaminada, polui conseqüentemente rios e mares, e assim vai tornando mais escassa a quantia de água potável.

Corral-Verdugo (2002) afirma que a escassez de água é um dos fatores situacionais mais importantes a influir no esforço de conservação de água.

O ciclo hidrológico e a utilização no mundo e no Brasil mostra a tendência do crescimento da escassez e algumas alternativas para superar este problema rural, urbano e global.

#### 2.4.1.Ciclo Hidrológico

A água movimenta-se constantemente, sendo líquida, vapor ou gelo.

A energia termal de origem solar e a transpiração dos organismos vivos transformam parte da água dos oceanos e continentes (rios, lagos e umidade do solo) em vapor. Este sobe à atmosfera, engendrando condições propícias à vida na Terra, condensando e formando as nuvens. Sob a ação da energia gravitacional, a água atmosférica volta a cair em forma de chuva, neblina, neve, principalmente, indo alimentar o fluxo dos rios, a umidade do solo e os estoques de água subterrânea (REBOUÇAS, 1997).

Segundo Baisch (2009) a quantidade de água na terra e na atmosfera é estimada em 1.383.844.700 km<sup>3</sup> sendo que a maioria está nos oceanos contabilizando 97,591%. Esta quantia é de água dos mares e lagos salgados. Somente 2,408% é água potável onde só 22% está disponível, os 78% restantes encontram-se nas geleiras polares.

Segundo Ramírez e Yepes (2011) 2,5% da água potável que existe a nível mundial se usam de maneira ineficiente e se subdivide da seguinte forma: 70% é utilizado para irrigação agrícola, 10% serve a indústria e o resto produz eletricidade (20%).

A irrigação agrícola está entre os fatores onde há muito desperdício, pois como afirma Rebouças (1997) o uso de métodos de irrigação de superfície (espalhamento, pivô central, aspersão convencional e similar) cuja eficiência média,



em mais de 90% dos casos, é de apenas 30%. Este valor só confirma que mesmo em áreas com grande problema de falta de água, o mau aproveitamento pode prejudicar ainda mais a produção de alimentos.

#### 2.4.2. Água no mundo

Entre todos os desafios do século XXI a preservação e conservação da água potável é, sem dúvidas, uma das principais preocupações em todo o planeta. Primeiramente porque ela não é igualmente distribuída por todo o globo, segundo por conta do desperdício em vários setores e terceiro pela má utilização pela população.

Na África há vários problemas graves de falta de água, e o aumento da população agravou ainda mais este fator. Em muitas épocas do ano, afirma Baisch (2009) que as águas dos poços são retiradas em uma proporção que não há reposição suficiente. Esta escassez prejudica também toda a agricultura que morre e aumenta o estado de desertificação da região.

Em Israel, onde a pluviometria média varia entre 800 mm/ano no Norte e 30 mm/ano no Sul, ocorrem secas em um ano sobre três. A eficiência dos métodos de irrigação já atinge 80% a 90%, contra os 30% em média nos países tradicionais situados em faixas climáticas menos severas e que têm suas economias fortemente dependentes da agricultura (REBOUÇAS, 1997). Novamente por Rebouças (2001) este país encontra-se na classificação das Nações Unidas como *muito pobre*, incluindo mais 13 países, com menos de 500 m<sup>3</sup>/ano/habitante de água.

Na China, afirma Lingyu e Yougkui (2011) que até o final do século XX, 400 das 600 cidades do país sofriam com a escassez de água.

No México, a Comissão Nacional de Água declarou recentemente que, a menos que uma temporada extraordinária de chuva acontecesse, este país teria água para poucos meses. Embora no México a maior parte da água seja empregada na agricultura, o crescimento acelerado das cidades resultou num significativo aumento do consumo doméstico da água. Esta tendência está acontecendo na maioria das nações em desenvolvimento, forçando os governos a implementarem estratégias de conservação de água de áreas urbanas (CORRAL-VERDUGO, 2003)



Para entender a diferença básica entre as regiões foi analisada a precipitação local para cada uma das regiões. Trata-se da medição do volume de água acumulada ao longo de um ano, assim, segundo a ANA - Agência Nacional das Águas (2013) em dados médios anuais que compreendem entre 1961-2007 existe a precipitação de 1.761 mm, variando de 500 mm, na região semiárida do Nordeste, a mais de 3.000 mm na região Amazônica. A variação é muito grande impossibilitando a tomada da média como um parâmetro nacional.

Quando uma dada região for analisada isoladamente foi necessário um dado mais local, pois o valor de 1.761 mm não representa de nenhuma forma os pontos extremos regionais.

A percepção da água como um recurso infinito foi perdendo esta característica conforme foram crescendo as populações ribeirinhas, que têm por hábito a captação direta da fonte, sem tratamento para consumo imediato. A qualidade da água passou a ser uma preocupação e a falta dela também. Afirmam Ribeiro e Galizoni (2003) que esta percepção de que os recursos naturais eram finitos começou a manifestar-se no Brasil sob forma de crises que atingiram atividades agrícolas: falta de chuvas, perdas de safras, quedas de produtividade, migrações do meio rural para povoados, decadência de áreas produtivas.

Nas áreas de maior escassez as medidas tomadas foram inúmeras ao longo dos anos na tentativa de dar uma melhor qualidade de vida para a população local.

Segundo Rebouças (1997) a crise da água no Brasil, especialmente na região Nordeste, resulta da intervenção altamente predatória neste espaço, levando ao efeito perverso de aplicar, a um fenômeno marcadamente estrutural, políticas seladas pela visão conjuntural que induzem ao cultivo do problema.

No semiárido, segundo a ANA (2013), alguns fatores são determinantes para agravar a situação de escassez: precipitação média inferior a 700 mm; ausência de sistemas aquíferos sedimentários, que representariam potencial fonte de suprimento e de segurança hídrica para o abastecimento; ausência de rios perenes com elevado porte ou com grande capilaridade.

A construção de açudes foi uma alternativa para conservar a água que precipita e utilizá-la em inúmeras formas diferenciadas. No entanto era necessário que chovesse de alguma maneira, assim, mesmo com os açudes a seca tomava a região, principalmente Nordeste, de forma intensa.

Segundo Soares *et al* (2006) poderiam ser extraídos no subsolo da Região Nordeste, sem risco de esgotamento dos mananciais, pelo menos 19,5 bilhões de m<sup>3</sup> de água por ano, afirmados pelos estudos da Associação Brasileira de Água Subterrâneas (ABAS). O uso desta água, porém, é limitado por um problema típico dos poços do interior nordestino: a concentração elevada de sais, água salobra.

Para tratar estes sais é utilizada a osmose reversa que gera dois produtos: água potável para consumo e um resíduo extremamente concentrado. O segundo produto é de difícil tratamento e destinação, portanto um problema em regiões distantes e com poucos recursos. Apesar do domínio de técnica de uso dos dessalinizadores por osmose reversa, no Ceará, o cálculo de eficiência econômica e distributiva para melhor aproveitamento da água produzida é deficiente (CAMPOS, 2007).

Desvios de rios para irrigação em regiões mais necessitadas também foi uma das alternativas, mas a solução efetiva do problema envolve questões geológicas e principalmente políticas que dificilmente são concretizadas. Mesmo em grandes cidades há a discussão de integrar o Rio Paraíba do Sul, que abastece o Rio de Janeiro, ao Sistema Cantareira que abastece São Paulo. Para isto construirão 15 quilômetros de dutos que conectarão os dois reservatórios. Este projeto está em análise pelos técnicos da ANA, pois como o Rio Paraíba do Sul pertence a mais de um estado ele é federalizado. Por isto outros meios têm sido pesquisados para auxiliar no problema da escassez de água no país.

## 2.5. APROVEITAMENTO DO H<sub>2</sub>O PROVENIENTE DA COMBUSTÃO INTERNA DE COMBUSTÍVEIS

A proposta de aproveitar a água advinda de combustíveis queimados em motores de combustão interna é pouco conhecida, desta maneira não foram encontradas pesquisas diretamente relacionadas a este tema. Mas em muitos países aproveitar ao máximo a potencialidade hidráulica tornou-se um dos maiores desafios deste século. Assim qualquer ideia com possibilidade de aplicação prática será sempre uma boa notícia.

A geração de água, energia e gás carbônico em um mesmo sistema concentra não somente uma, mas várias alternativas nas regiões de pouco acesso à energia e com pouca chuva. Nessas áreas qualquer solução que proporcione uma melhor qualidade de vida poderá mudar o rumo das vidas de muitas pessoas. Os três elementos citados acima caracterizam a possibilidade de cultivo em regiões com características climáticas extremas.

A importância do gás carbônico é que em regiões muito secas, precisa-se também desta substância fundamental para o cultivo. Afirma Costa *et al* (2008) que o balanço de carbono no solo é dependente da relação entre as adições de carbono fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de carbono para a atmosfera resultantes da oxidação microbiana de carbono orgânico a CO<sub>2</sub>.

A injeção de CO<sub>2</sub> para o enriquecimento do cultivo de determinados alimentos já é bastante utilizado. Segundo Costa e Leal (2009) o fornecimento de CO<sub>2</sub>, em períodos do dia em que os vegetais são mais ávidos pelo gás, propicia significativo aumento de produtividade de precocidade e de qualidade do alimento colhido.

Em regiões de clima frio a utilização da produção de água e gás carbônico por geradores direcionados para estufas de cultivos também é uma proposta útil, pois nestes casos pode até não faltar estes elementos, mas a emissão pode ter a temperatura controlada bem acima do clima externo, mantendo assim as características essenciais para a permanência do cultivo livrando-o das geadas que são extremamente prejudiciais às plantas.

A utilização da água produzida na combustão em motores possui alguns pontos a serem avaliados com cuidado. Isto porque não é somente água que é efetivamente produzida na combustão, vários outros elementos, alguns nocivos também estão presentes nos gases de emissão. Portanto para reutilizar esta água algumas medidas deverão ser tomadas anteriormente.

O processo de liquefação realizado nos testes traz consigo alguns pontos negativos, o principal é que ao liquefazer simplesmente por resfriamento a água certamente fará com que o resíduo de hidrocarbonetos não queimados se dilua neste líquido, sendo realmente um fator contaminante que inutiliza o produto final. O ideal será tentar separar o vapor desta água dos demais gases para depois reutilizá-la.

Como foi dito anteriormente a escassez de água no Brasil e no mundo é um fator que tem preocupado esta geração e muita água potável está sendo utilizada para atividades que geram desperdício. Principalmente na agricultura, nos sistemas de irrigação mal dimensionados. Levar água para regiões como o semi-árido brasileiro é outro problema que preocupa os moradores daquela região que apesar de possuir água no subsolo não tem condições de tratar sua salinidade alta.

Segundo Mohammadi e Kaviani (2003) pode-se separar água salobra com a simples aplicação de tensão (V), ou seja, criando uma diferença de potencial (ddp) elétrica. Considerando este fato o processo reverso também poderá ser feito, utilizando resíduo de sal para gerar uma ddp e assim transformar este processo em um gerador de energia elétrica.

Com um simples gerador pode-se gerar energia (mecânica, térmica e elétrica) e produzir água, emitida através da combustão. Aplicar este sistema à essas regiões escassas passou a ser um desafio. Para tratar a água com alto índice de salinidade é necessário que haja um evaporador que transforma o que é líquido em vapor e a parte sólida, o sal, fica retido. Essa água depois de condensada pode ser consumida ou utilizada em sistemas de cultivo. O resíduo por sua vez também tem bastante utilidade, pois seu potencial eletroquímico pode gerar energia, e o que era efetivamente um passivo ambiental de alto impacto passará a ser mais uma alternativa de geração de energia.

O dessalinizador já é utilizado com evaporador movido a energia solar, de instalação e manutenção caras. Um sistema que possa bombear a água salgada do solo, purificá-la por evaporação e aproveitá-la em uma estufa de cultivo de plantas com irrigação controlada é um bom método para auxiliar na produção de alimentos nessas regiões. No entanto em regiões muito secas, com pouca área verde, a água não é o único elemento de escassez, não há também quantidade de CO<sub>2</sub> suficiente para a produção de comida, afinal, as plantas retiram o carbono do gás carbônico para formarem a celulose que constituirá sua estrutura e liberará o oxigênio neste processo.

#### 2.5.1. Sistema de cogeração de produção de água e gás carbônico a partir de emissão veicular e dessalinização de água salobra

O sistema proposto segue o esquema da FIGURA 2 a seguir:

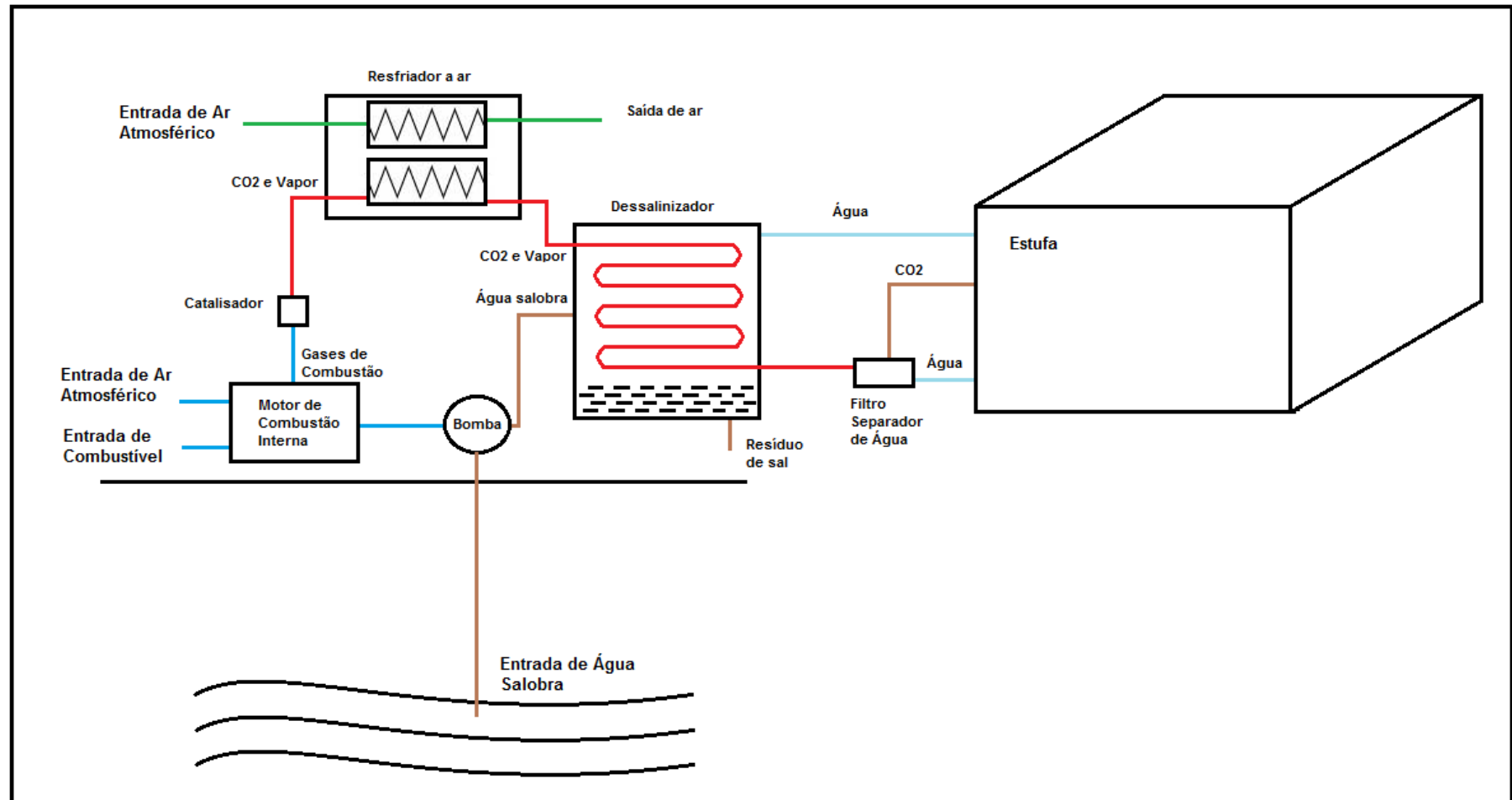


FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA A SER ESTUDADO PARA A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO E A INJEÇÃO DE CO<sub>2</sub>.

Este sistema é inédito, portanto nesta fase da revisão serão visto elementos que contribuirão para a constituição e formação deste esquema de cogeração.

A ideia deste sistema é utilizar a força motriz do motor à combustão interna (pode ser GNV, Diesel, gasolina, etanol ou bicomcombustível), ciclo Diesel ou Otto, e auxiliado por um bomba de sucção retirar água do subsolo contido nas regiões semi-áridas, neste caso Nordeste. Esta água possui salinidade em grau maior que a capacidade de utilização para consumo ou cultivo de alimentos, em alguns casos segundo Soares *et al.* (2006) esta água serve para cultivo de gramas e plantas em geral não alimentícios. A necessidade de dessalinizadores nestas regiões geraram programas governamentais auxiliando pequenos produtores a utilizá-los para cultivo. O dessalinizador mais comum é o pelo osmose reversa, que apesar de eficiente tem um custo de manutenção alto e gera um resíduo salino altamente tóxico.

No sistema proposto nesta pesquisa, a dessalinização ocorrerá pelo processo de evaporação, que normalmente é lento, pois depende do aquecimento solar que atinge no máximo temperaturas em torno de 50 °C nas áreas mais quentes. No entanto, como serão utilizados os gases de combustão como elementos de consumo para as plantas da estufa, a temperatura de saída deles do gerador é superior é de  $177,5 \pm 3,5$  °C como mostrado na FIGURA 3.

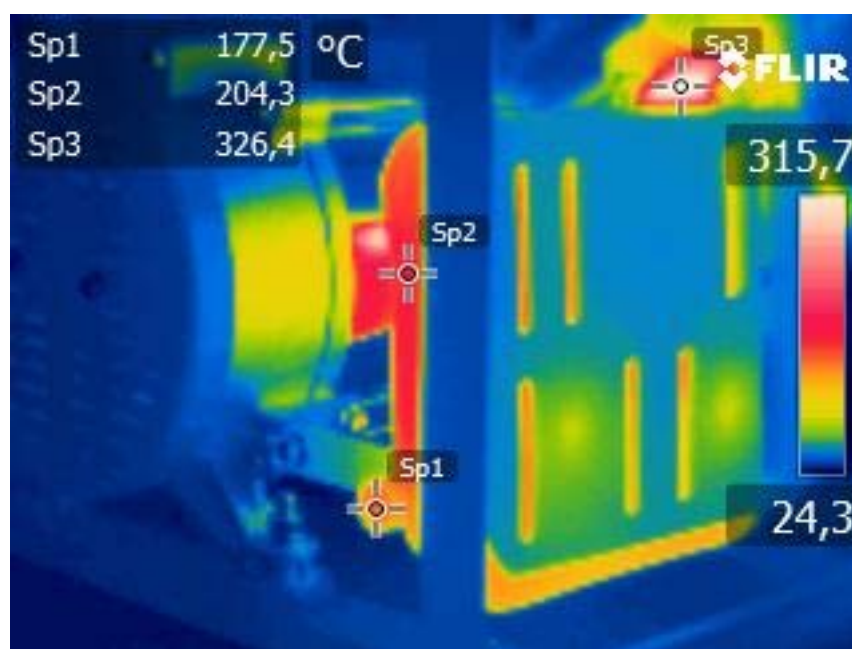


FIGURA 3 - IMAGEM TÉRMICA DA SAÍDA DE GÁS NO GERADOR.



Assim em um trocador de calor a evaporação da água que será separada do sal no dessalinizador será além de mais eficiente, mais rápida também. Para a emissão do motor esta perda de calor é essencial, pois em alta temperatura tanto o gás carbônico como a água são nocivos para o cultivo. E em um processo normal a energia de resfriamento deste gás seria simplesmente desperdiçado para o meio ambiente.

O vapor de água doce proveniente da dessalinização será destinado para uma estufa de cultivo. Os sistemas normais de agricultura que utilizam este processo são sustentados desta maneira. A proposta deste novo sistema é além de extrair a água e torná-la potável é também, através dos gases de emissão filtrados, ter além de mais água para uso na estufa, também gás carbônico que é extremamente importante para cultivo.

Um filtro metálico com tratamento superficial especial direcionará a água do gás de combustão para um duto específico e o gás carbônico irá para outro duto, assim separados podem ser controlados em termos de pressão e temperatura além da quantidade que será enviada para a estufa. Estes elementos,  $H_2O$  e  $CO_2$ , depois de passar por todo o procedimento de tratamento, purificação e separação, poderão ser armazenados em cilindros específicos e terem sua entrada na estufa controladas para irrigação e alimentação mais eficiente. Pois não se pode esquecer que o desperdício deve ser evitado ao máximo. Para isso o sistema de irrigação por gotejamento é uma boa sugestão, pois ele tem 90 % de eficácia.

#### 2.5.2.Separação da Água dos Demais Componentes da Emissão

Um dos maiores desafios deste trabalho é efetivamente conseguir que a água produzida na combustão possa ser reaproveitada de forma eficiente e sem elementos contaminantes.

Separar o gás carbônico do vapor de água não é simples, e tem alto custo. Uma sugestão é a utilização de uma substância hidrofóbica que retenha a água e permita a passagem do gás carbônico.

Um filtro metálico tratado superficialmente com uma substância superhidrofóbica. Abaixo vê-se uma superfície tratada com esta substância e uma gota de água sobre ela (FIGURA 4).

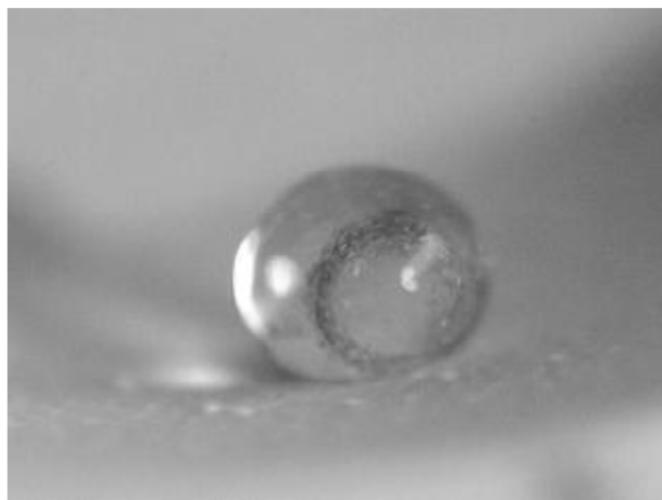


FIGURA 4 - SUPERFÍCIE SUPERHIDROFÓBICA ASPERGIDA POR POLITETRAFLUORETILENO PTFE 30.

FONTE: Burkarter (2010)

A tela metálica do filtro aspergida por eletrospray de Politetrafluoretileno 30 (PTFE) desenvolvido por Burkarter (2010) que cria uma superfície altamente hidrofóbica é uma alternativa. Por conta desta característica a água será separada do gás carbônico no separador de condensado, em estado de vapor, sendo que os gases passarão pelo filtro e a água ficará retida por oposição à superfície.

Nota-se que a água possui pouquíssima aderência à superfície, o que permite que ela possa simplesmente se desprender facilmente. Em uma situação na qual se deseja uma separação mais efetiva de água de outros elementos, esta superfície repelirá somente a água, deixando os demais elementos passarem.

### 2.5.3. Aproveitamento do Potencial Mecânico do Motor de Combustão Interna

Ao fazer uso de um motor para geração de energia térmica e extração de água vinda da combustão, seria desperdício não aproveitar também o potencial mecânico de trabalho deste motor. Portanto, a proposta é de aproveitamento deste potencial para bombeamento de água salobra dos poços profundos na região semi-árida proposta.

O limite mínimo da capacidade do motor não dependerá então somente da produção de sua emissão a partir de seu consumo, mas também da capacidade mínima de bombeamento necessária para sucção de água. Este valor dependerá

diretamente da capacidade da estufa e da necessidade tanto de água como de gás carbônico que ela precisará.

#### 2.5.4. Tratamento de Resíduo de Sal Proveniente da Evaporação da Água Contida no Solo Semiárido

Quando a água for extraída da mistura salobra haverá um resíduo de sal que gera problemas em sua destinação. Nos Estados Unidos, segundo Soares *et al.* (2006), o rejeito é despejado em águas superficiais (41%), no esgoto (31%) ou injetado em poços profundos (17%). Em algumas medidas mais alternativas este sal é despejado na terra (2%) ou em tanques de evaporação (2%).

Aqui no Brasil houve uma tentativa de reaproveitar este rejeito no cultivo de alface em sistema hidropônico. Santos *et al.* (2010) observou que a utilização deste rejeito reduziu o peso da matéria fresca em 94,83% em relação ao cultivo normal. Portanto esta destinação para o sal não foi satisfatória.

No entanto, Silva *et al.* (2013) estudou o potencial de geração de energia a partir da diferença de salinidade entre água salobra e água normal. Com a escolha certa do eletrodo e diferença de potencial é afirmada a viabilidade de aproveitar o rejeito salino em um gerador de energia eletroquímico.

Existe um enorme potencial para a geração de energia a partir da mistura de água salgada e água doce. Considerando as águas marinhas e suas salinidades, o potencial é de 2,6 TW, o que é mais do que o consumo global de energia elétrica (2,0 TW) (NIJMEIJER e METZ, 2010).

O modelo proposto por Simon *et al.* (2014) mostra um sistema conectado a eletrodos separados por uma membrana, a passagem do cátion gera uma diferença de potencial, e portanto, energia elétrica. A ilustração indica o esquema de diagrama do sistema de membrana eletrolítica (FIGURA 5).

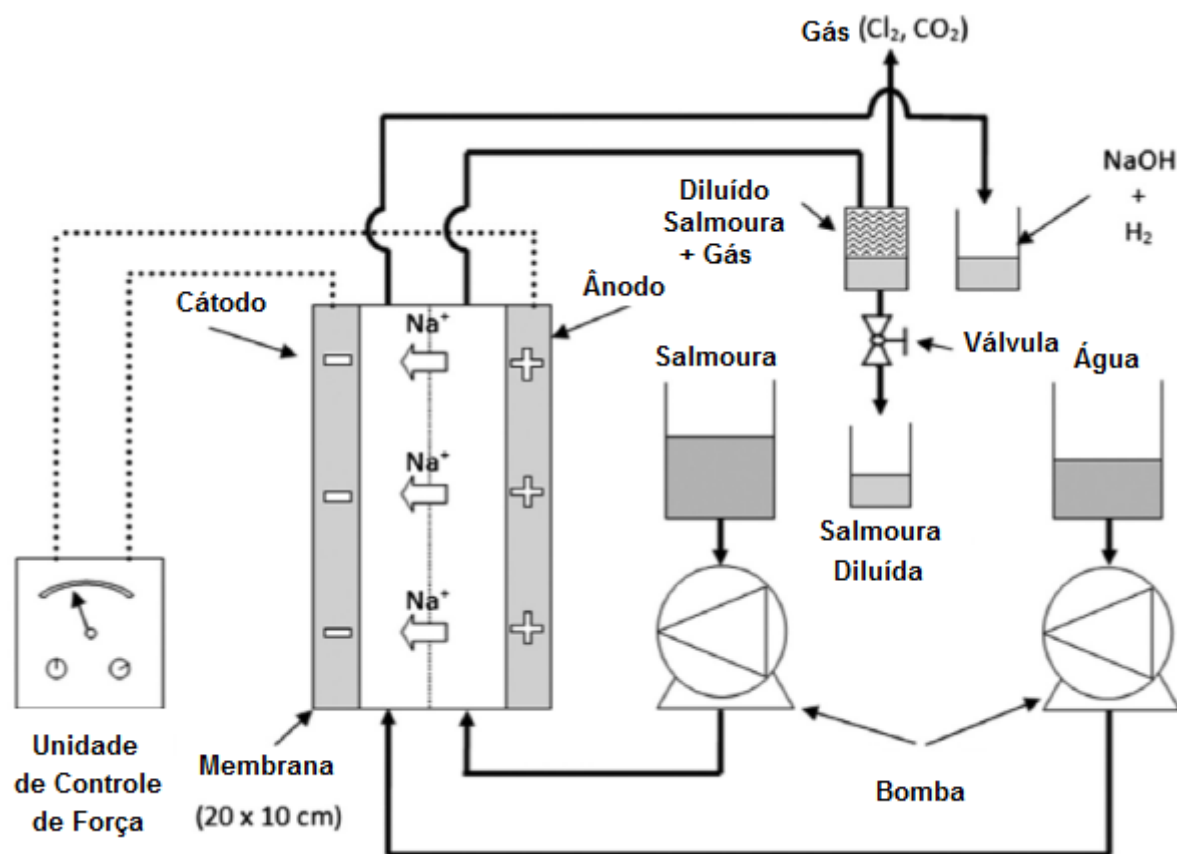


FIGURA 5 - DIAGRAMA DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE ÁGUA SALOBRA E ÁGUA NORMAL.  
 FONTE: Simon *et al.* (2014)

Como o projeto proposto será instalado em uma região semiárida solucionará também outro problema além da escassez de água que é necessidade de energia elétrica.

## 2.6. DESAFIOS ATUAIS

Para o avanço do estado da arte no assunto, listam-se os seguintes desafios:

- Encontrar uma nova alternativa de captação de água para reutilização seja em limpeza, consumo ou sistemas de cultivo.
- Implementar esta nova técnica para regiões que sofrem com escassez de água, para consumo e plantio, como o semiárido nordestino.

- A proposta do trabalho é um novo sistema que além de extrair a água da emissão através dos gases filtrados, é ter mais água disponível para uso na estufa. Como também a produção de gás carbônico que é extremamente importante para cultivo.
- Aproveitar o motor de combustão para extrair água salobra de regiões profundas no semiárido brasileiro.
- Como o projeto proposto será instalado em uma região semiárida solucionará também outro problema além da escassez de água que é necessidade de energia elétrica.
- Em um sistema de cogeração produzir também energia elétrica aproveitando o resíduo salino da água salobra bombeado para a estufa.

## 2.7. OBJETIVOS

### 2.7.1. Objetivo Geral

Produção de água a partir da queima de combustíveis e formas de reaproveitamento e viabilidade em um sistema de cogeração de energia em uma estufa de cultivo de plantas.

### 2.7.2. Objetivos Específicos

1. Calcular teoricamente a partir da queima estequiométrica dos combustíveis a quantidade de água produzida.
2. Através de experimentos de condensação coletar amostra para análise da água produzida na emissão de um gerador à gasolina.
3. Através de emissão coletada em ensaio de motores avaliar a quantidade de água produzida em estado de vapor.
4. Propor reaproveitamento da água e gás carbônico, em estado de vapor, em estufas de cultivo de alimentos.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. EXPERIMENTOS**

A parte experimental deste trabalho consistiu em validar de forma prática a extração de água da emissão de um motor de combustão interna e desta maneira confirmar as análises teóricas.

Três práticas foram realizadas:

Confirmação da formação de água a partir do resfriamento de emissão veicular de um automóvel com resfriador de baixo custo com tubos de Policloreto de Vinila (PVC).

Coleta de amostra de água da emissão de um gerador de combustão interna à gasolina para análise de caracterização desta amostra.

Teste no Banco de Motores do LEME – Laboratório de Ensaios Mecânicos dos Institutos LACTEC de emissão de água detectada por espectroscopia na região infravermelha com transformada de Fourier (FTIR).

##### **3.1.1. Procedimento experimental de confirmação da produção de água em automóveis**

Os trocadores de calor transferem a energia calorífica através de meios de contato, no caso da condução, aquecendo ou resfriando gases ou líquidos. Foi dimensionado então um protótipo de baixo custo para confirmar a eficiência do experimento e posteriormente planejar testes mais precisos e efetivos.

Para o trocador de calor foram usados dois tubos de policloreto de vinila, mais conhecido como PVC, usado em construção civil. Um tubo maior com 6 m de comprimento e 50 mm de diâmetro, outro tubo com 4 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, o tubo de diâmetro menor foi inserido dentro do tubo de diâmetro maior. O tubo de 50 mm foi conectado ao escapamento de um automóvel de motor bicom bustível, mas com 100% de etanol, sem mistura de gasolina, para captar os gases de emissão veicular. Este tubo foi inserido no outro tubo maior que foi preenchido totalmente com gelo, desta maneira, sem contato entre o gás e o gelo, por condução nas paredes do tubo menor, o vapor de água contido na emissão foi

condensado, e liquefeito. O detalhe do trocador de calor antes do experimento é mostrado abaixo (FIGURA 6).



FIGURA 6 - PROTÓTIPO DE TROCADOR DE CALOR DE PVC.

A FIGURA 7 mostra o início da captação do líquido que foi retirado na saída do trocador de calor, como este experimento foi baseado em um protótipo de confirmação a amostra recolhida estava contaminada por alguns fatores: o conector com o cano de escape também era de PVC e apesar de limpo não foi esterilizado, assim como o tubo menor de PVC, que continha resíduos do próprio tubo. Por isto apesar de ter sido bem sucedido na captação da água qualquer análise de laboratório no líquido obtido não representaria um resultado real e autêntico da emissão condensada.



FIGURA 7 - INÍCIO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA NO PROTÓTIPO DE PVC.

### 3.1.2.Procedimento experimental de confirmação da produção de água em geradores

Quando mudou-se o foco do equipamento utilizado surgiu a possibilidade de fazer experimentos a partir de um gerador de energia de combustão à gasolina comercial, ciclo Otto a 4 tempos. Neste caso por conta da menor dimensão do gerador o manuseio para quantizar a queima do combustível é de acesso mais fácil. Assim pode-se medir quanto foi consumido de combustível efetivamente e quanto de líquido foi produzido a partir desta quantia.

Mudando o motor e diminuído as dimensões da saída do escapamento não seria mais possível utilizar o trocador de calor experimentado anteriormente. A ideia de utilizar a refrigeração dos gases de combustão manteve-se, no entanto, o material neste caso teria que ser mais resistente e com um potencial calorífico mais eficiente que o PVC.

Após várias possibilidades como o uso de um radiador automotivo, ou grade de refrigeração de geladeiras surgiu a ideia de utilizar um resfriador conhecido na indústria de produção de cerveja artesanal como chiller, ou serpentina tipo prato, feito de cobre, que tem excelentes propriedades para transferência de calor através da sua condutividade térmica. No caso do experimento foi adquirida uma serpentina tipo espiral, com 15 metros de comprimento, o que garantia bastante tempo para condensação do vapor. A disposição de trajeto descendente de saída do gás também auxilia a saída do líquido por gravidade. Para auxiliar no resfriamento a serpentina foi inserida em uma panela, também utilizada nas cervejarias, para manter o elemento refrigerador em contato com a serpentina o maior tempo possível. Como o resfriamento seria de fora para dentro, somente ar não garantiria a temperatura necessária para o sucesso do experimento, então foi utilizado gelo como elemento refrigerador.

A FIGURA 8 ilustra o experimento para o controle inicial de temperatura. A saída do gás e do líquido resfriados saíram por baixo, no fim da serpentina inserido em um furo feito na parte inferior da panela. Este furo foi vedado com fita de alta fusão para garantir que o líquido residual derretido do gelo aquecido não se misturasse com o líquido saído de dentro da serpentina. Para conectar o escapamento do gerador com o início da espiral foi utilizada uma mangueira



automotiva de radiador que suporta altas temperaturas, as mangueiras comuns não suportam a temperatura de saída dos gases deste experimento.



FIGURA 8 - EXPERIMENTO PARA A PRODUÇÃO DE ÁGUA A PARTIR DE UM GERADOR ELÉTRICO.

Inicialmente o gelo foi distribuído na panela para começar a resfriar a serpentina. Quando o líquido começou a sair pelo tubo na parte inferior e foi coletado, a medição de temperatura foi iniciada, este tempo foi necessário para que o teste estivesse em regime permanente. O experimento foi realizado em local aberto devido à emissão de gases nocivos, considerando a extração de água da emissão a parte gasosa da saída do *chiller* é concentrada de gás carbônico, muito nocivo. O calor emitido pelo gerador também é alto, por isto ele foi disposto em um local que ocasionasse o resfriamento por convecção natural.

### 3.1.3. Medição de água por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica coleta os gases de emissão direto do escapamento do carro e os deposita em bolsões com volume conhecido. Após esta coleta são medidos os gases contidos por radiação incidente em um interferômetro, a radiação infravermelha é absorvida pelas moléculas da amostra e convertida em energia de vibração molecular. (DAEMME, 2012)

A FIGURA 9 mostra como é realizado o teste de emissão medido por FTIR.

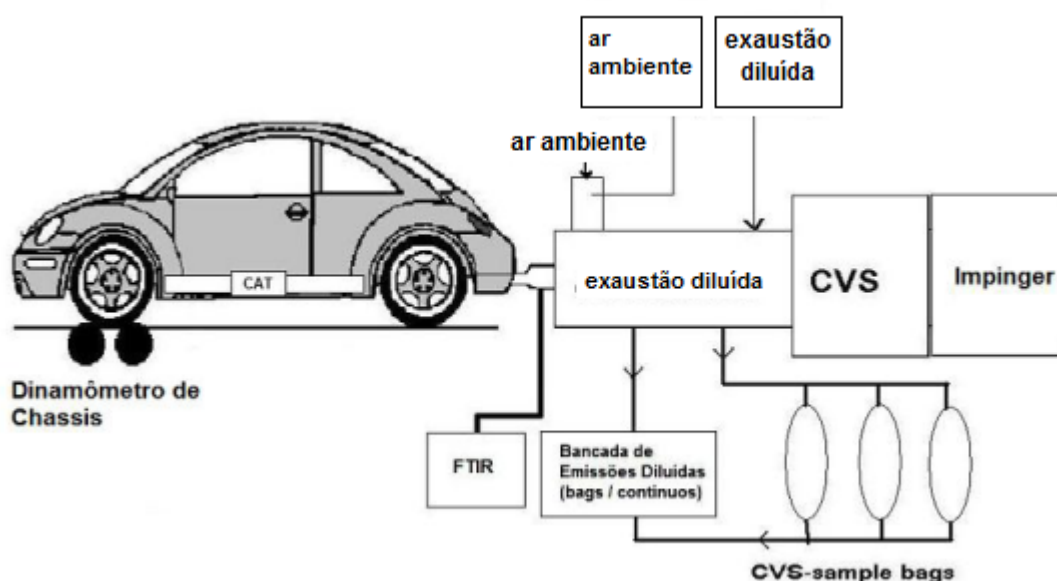


FIGURA 9 - CONFIGURAÇÃO DE ENSAIO EM VEÍCULO OTTO E DIESEL COM USO DO FTIR.  
FONTE: DAEMME *et al* (2014)

A transformada de Fourier é a interpretação matemática da leitura do comportamento de cada componente e sua incidência no volume pré-determinado. A medição é feita de forma contínua.

Os dados de emissão são coletados e traduzidos em gramas por quilômetro rodado ou porcentagem por volume definido, como o foco deste estudo é a produção de água, a interpretação será baseada na leitura da porcentagem de água medida segundo a segundo, durante 1700 segundos de 3 testes realizados com combustão de gasolina A22, ou seja, 22% de etanol. Em banco de motores a utilização deste combustível é padronizado por norma. Por isto a não utilização de gasolina comercial E25.

#### 3.1.4. Equipamentos utilizados

Os experimentos foram realizados com os seguintes equipamentos:

- a. Motor automotivo com cilindrada de 1596 cm<sup>3</sup>, 4 cilindros em linha, ciclo Otto, bicomcombustível (gasolina e etanol em qualquer proporção),

taxa de compressão 11:1. Este motor foi utilizado na coleta de água com trocador de PVC abastecido com 100% de etanol comum.

- b. Motogerador movido à gasolina, 4 tempos, com 2.8 cv de potência. Utilizado na coleta da água para análise de emissão.
- c. Câmera termográfica é do tipo FLIR E40 com medição na faixa de – 20°C a 650°C podendo ser definida uma faixa menor pelo medidor. A faixa de incerteza da medição é de  $\pm 2$  °C ou 2% predominando o maior valor. Para efetuar as medições é necessário parametrizar alguns dados na câmera termográfica como temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Para isso foi usado um termohigrômetro Minipa MT-241 com incertezas na casa de  $\pm 2$  °C para temperatura e umidade na faixa de  $\pm 5\%$ . Com esses valores podemos então regular a câmera para a medição. Este experimento trata-se de uma análise de processo que envolvem alguns parâmetros relativos às temperatura e umidade relativa do ar que são fatores muito difíceis de serem reproduzidos. Por isto a utilização das incertezas de medição dos instrumentos, que estão no prazo de validade da calibragem, são extremamente importantes. A própria câmera admite a incerteza da entrada das medidas do termohigrômetro.
- d. Espectroscopia infravermelha com transformada de Fourier – FTIR, acoplado ao escapamento de um automóvel com motor de combustão à gasolina, 1.598 cm<sup>3</sup>. Instalado em um banco de motores para teste de emissão de determinação de hidrocarbonetos, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, dióxido de carbono e material particulado no gás de escapamento. No caso deste experimento a medição da água, procedimento tal que o próprio laboratório não tinha histórico de medição. Para isto foi necessário entrar em contato com o fabricante para esclarecer se na medição havia o descarte da entrada de umidade do ar junto com a admissão. A densidade da água em estado de vapor medida no equipamento é de 0,7489 kg/m<sup>3</sup>. A

medição final vem descontada deste valor calculado no próprio equipamento.

### 3.2. ANÁLISE TERMODINÂMICA

#### 3.2.1. Equações de Combustão

A queima estequiométrica de combustíveis por motores de combustão interna obedece à seguinte reação:



##### a) Gás Metano



##### b) Etanol



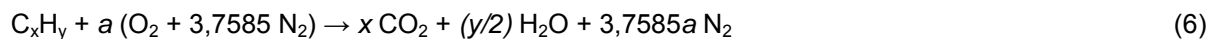
##### c) Gasolina



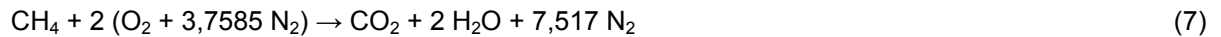
##### d) Diesel



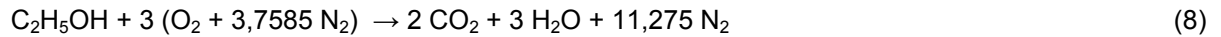
Como na situação real a mistura não ocorre com  $O_2$  puro e sim com a composição de ar atmosférico constituído por  $O_2 + 3,7585 N_2$ .



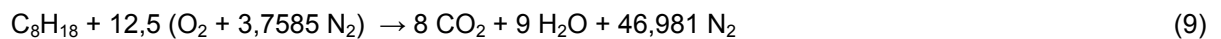
##### a) Gás Metano



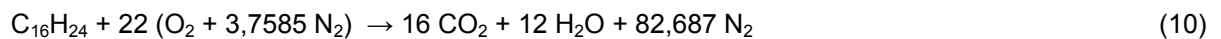
b) Etanol



c) Gasolina



d) Diesel



Para as condições normais de uso existem três tipos de queima diferenciados por tipos de misturas:

- Mistura pobre;
- Mistura estequiométrica;
- Mistura rica.

A razão estequiométrica ar-combustível depende da razão entre a massa molar de ar e a massa molar de combustível. Como indica a Equação (11) a seguir:

$$\left(\frac{A}{C}\right)_{\text{esteq}} = \left(\frac{m_a}{m_c}\right) \quad (11)$$

$(A/C)_{\text{esteq}}$  = razão ar/combustível estequiométrico

$m_a$  = massa molar de ar (kg/mol)

$m_c$  = massa molar de combustível (kg/mol)

A razão de equivalência indica se a mistura de ar e combustível é rica, pobre ou estequiométrica. A Equação (12) mostra como obtê-la.

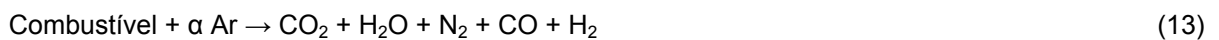
$$\alpha = \frac{(A/C)_{esteq}}{(A/C)} \quad (12)$$

$\alpha$  = razão de equivalência

$(A/C)$  = razão ar-combustível real

A quantidade de ar “ $\alpha$ ” na combustão definirá quais os produtos da queima. Se  $\alpha < 1$ , a mistura será considerada rica, em combustível.

Assim temos como produto:

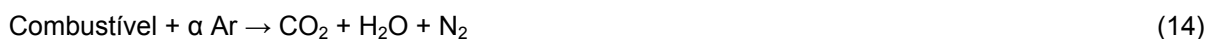


A mistura rica ocorre quando o carro está em:

- Marcha lenta;
- Plena potência;
- Aceleração.

A produção do monóxido de carbono (CO) ocorre por haver excesso de combustível, portanto falta oxigênio para completar a reação para formação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No entanto, por conta da intensidade da queima nesta situação, a formação de resíduos não é a correspondente da estequiometria comum para esta situação. Assim para fins científicos, não utilizaremos a mistura rica neste trabalho.

Se  $\alpha = 1$  a mistura será ideal, ou estequiométrica.



Se  $\alpha > 1$  a mistura será considerada pobre, com excesso de ar.



A mistura pobre ocorre normalmente quando o carro está em velocidade de cruzeiro e produz gás oxigênio (O<sub>2</sub>) em excesso, pois temos, neste caso, mais ar do que o carbono é capaz de reagir.

Essas equações produzem também gases mais nocivos que foram citados anteriormente, mas em quantidades que para efeito de análise deste trabalho serão

descontados somente no resultado final. Como já foram citados anteriormente os gases nocivos constituem de 1 a 2% dos gases finais da combustão. Se o equipamento estiver munido de catalisador, que tem seu uso regulamentado por lei, boa parte desses gases sofrerão reação tornando-se menos agressivos, mas uma minoria, ainda nociva, vai para a atmosfera. É com essas substâncias que se deve tomar cuidado ao reaproveitar a emissão em forma de água.

### 3.2.2. Produção de Água

O objetivo da análise das equações de combustão é para observar a quantidade efetiva de água que é produzida nestes processos e qual reagente efetivamente é o responsável e limitante da produção deste produto. Para isto foi necessário definir os tipos de queima (rica, estequiométrica ou pobre) que faz parte do regime de funcionamento dos motores de combustão interna. A razão de ar combustível é que define o padrão de mistura, segundo Rahde (2006) o valor para misturas conhecidas está indicado na TABELA 3.

TABELA 3 - CICLO X REGIME PARA MISTURA AR COMBUSTÍVEL.

Ciclo/Regime	Mistura Rica	Mistura Pobre
Otto – Gasolina	11:1	17:1
Otto - Etanol	7:1	11:1
Diesel	18:1	25:1

FONTE: Rahde (2006)

Estes valores são importantes para a definição do coeficiente  $\alpha$  de mistura que será a quantidade de ar, que reagirá com o combustível, efetivamente, e dará os produtos que serão quantizados e avaliados. Se forem dimensionados valores além dos limites admitidos de mistura Ar Combustível (A/C) haverá uma medição matemática, mas impraticável em situação real, pois os motores possuem limites físicos que não permitem queimas com misturas além da tabelada acima.

Para a medição em proporções molares de  $H_2O$  foi criada uma tabela que apresenta a proporção em pesos molares de cada componente reagente e produto da queima separando por tipos de reações. Como o produto final não é o mesmo

para cada relação ar combustível as tabelas foram efetuadas de maneira separada. Os gráficos representarão a formação efetiva e comparativa das emissões.

### 3.2.2.1. Produção de água a partir da gasolina pura

A partir da gasolina, mais precisamente da octana que representa a substância predominante na gasolina temos para mistura pobre com variação de baseada nos valores da TABELA 3 a TABELA 4 a seguir:

TABELA 4 - EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO DA GASOLINA PARA MISTURA POBRE.

C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	+	$\alpha$		O <sub>2</sub>	+	$\alpha$		N <sub>2</sub>	→		CO <sub>2</sub>	+		H <sub>2</sub> O	+		N <sub>2</sub>	+		O <sub>2</sub>
114,0		1,00	12,5	400,0			47,0	1315,5		8,0	352,0		9,0	162,0		47,0	1315,5		0,0	0,0
114,0		1,01	12,6	408,0			47,5	1328,6		8,0	352,0		9,0	162,0		47,5	1328,6		0,1	3,5
114,0		1,02	12,8	416,2			47,9	1341,8		8,0	352,0		9,0	162,0		47,9	1341,8		0,3	7,0
114,0		1,03	12,9	424,4			48,4	1354,9		8,0	352,0		9,0	162,0		48,4	1354,9		0,4	10,5
114,0		1,04	13,0	432,6			48,9	1368,1		8,0	352,0		9,0	162,0		48,9	1368,1		0,5	14,0
114,0		1,05	13,1	441,0			49,3	1381,2		8,0	352,0		9,0	162,0		49,3	1381,2		0,6	17,5
114,0		1,06	13,3	449,4			49,8	1394,4		8,0	352,0		9,0	162,0		49,8	1394,4		0,8	21,0
114,0		1,07	13,4	458,0			50,3	1407,6		8,0	352,0		9,0	162,0		50,3	1407,6		0,9	24,5
114,0		1,08	13,5	466,6			50,7	1420,7		8,0	352,0		9,0	162,0		50,7	1420,7		1,0	28,0
114,0		1,09	13,6	475,2			51,2	1433,9		8,0	352,0		9,0	162,0		51,2	1433,9		1,1	31,5
114,0		1,10	13,8	484,0			51,7	1447,0		8,0	352,0		9,0	162,0		51,7	1447,0		1,3	35,0

Na FIGURA 10 foi gerado o gráfico a partir dos dados da Tabela 4 e mostram a proporção de formação de água com relação aos demais componentes.

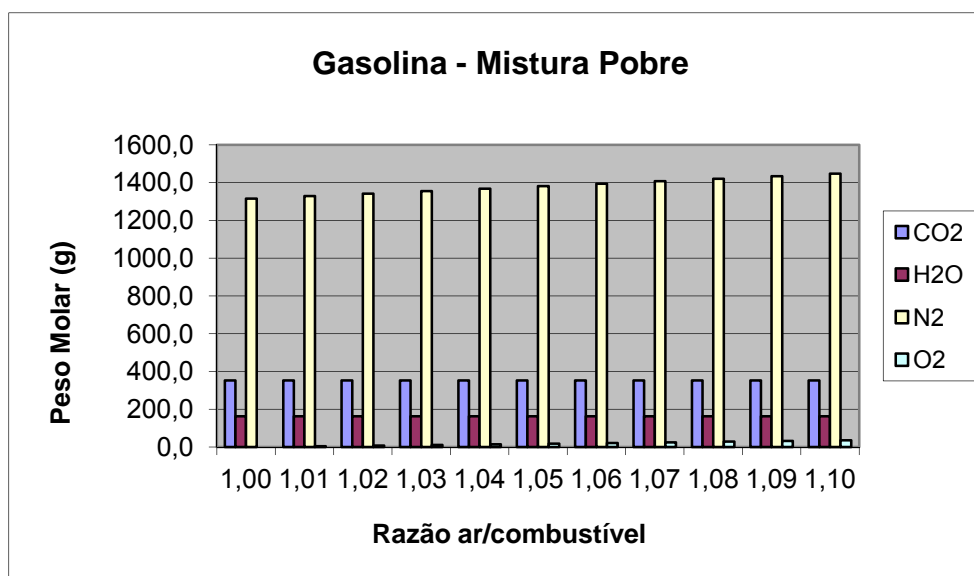


FIGURA 10 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DA GASOLINA EM MISTURA POBRE.

As emissões têm neste caso uma diferença grande de valores por conta da grande quantidade de gás nitrogênio contido no ar. Como para a avaliação que se



deseja atingir não se necessita desta substância, para uma melhor visualização da produção de gás carbônico e água na FIGURA 11. As demais figuras já estarão sem o  $N_2$ .

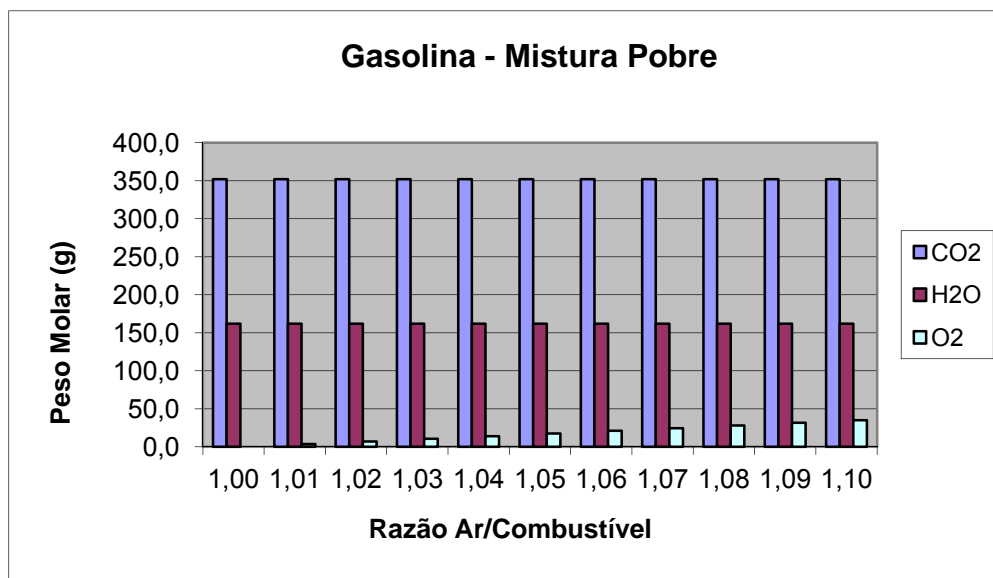


FIGURA 11 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DA GASOLINA EM MISTURA POBRE SEM GÁS NITROGÊNIO.

Desta maneira pode-se visualizar melhor a água produzida relacionada aos demais componentes e também observar que sua produção é constante, portanto independe da mistura de ar, e sim do combustível queimado.

#### 3.2.2.2. Produção de água a partir de etanol

Apesar da discussão do etanol ser um combustível ecológico por sua origem não petrolífera, neste caso a produção de água, tão benéfica para a sociedade, será inferior a quantidade produzida, por exemplo, pela gasolina. Já foi constatado anteriormente que é o hidrogênio contido no combustível que determinará a quantidade de água produzida na combustão, como o etanol possui 6 hidrogênios, ele produzirá, conseqüentemente, após reação com o ar, 3 moléculas de água.

A relação entre Ar e Combustível (A/C) e sua proporção  $\alpha$  que será utilizada para definir a mistura pobre da reação (TABELA 5).

TABELA 5 - RELAÇÃO A/C E A CORRESPONDENTE PARA CÁLCULO DE MISTURA EM MOTORES À GASOLINA.

$\alpha$	A/C
1,05	9,5073
1,10	10,0749
1,15	10,6528
1,20	11,2412
1,25	11,8400

Na TABELA 6 tem-se a queima, considerando as variações de A/C possíveis, para o etanol. Como se trata de uma mistura pobre terá novamente excesso de ar como um dos produtos da combustão.

TABELA 6 - EQUAÇÃO DA COMBUSTÃO DE ETANOL PARA MISTURA POBRE.

C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	+	$\alpha$		O <sub>2</sub>	+	$\alpha$		N <sub>2</sub>	→		CO <sub>2</sub>	+		H <sub>2</sub> O	+		N <sub>2</sub>	+		O <sub>2</sub>
46,0			3,15	105,8			11,8	331,5		2,0	88,0		3,0	54,0		11,8	331,5		0,2	1,8
46,0			3,30	116,2			12,4	347,3		2,0	88,0		3,0	54,0		12,4	347,3		0,3	3,6
46,0			3,45	127,0			13,0	363,1		2,0	88,0		3,0	54,0		13,0	363,1		0,5	5,4
46,0			3,60	138,2			13,5	378,9		2,0	88,0		3,0	54,0		13,5	378,9		0,6	7,2
46,0			3,75	150,0			14,1	394,6		2,0	88,0		3,0	54,0		14,1	394,6		0,8	9,0

Observa-se a produção de água neste caso, constante, assim como ocorreu na queima da gasolina anteriormente. O que reafirma a fixação desta produção ao combustível.

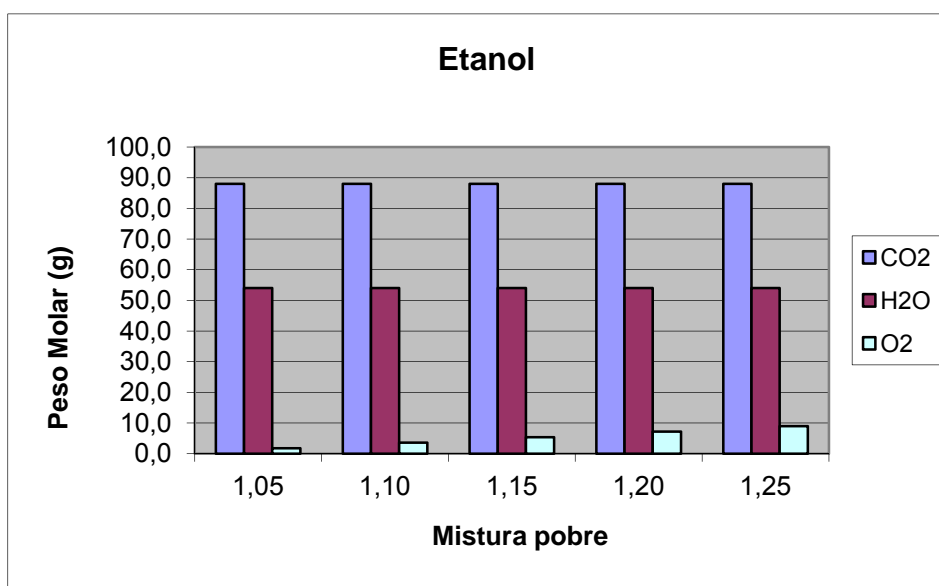


FIGURA 12 - EMISSÕES A PARTIR DA COMBUSTÃO DO ETANOL EM MISTURA POBRE SEM GÁS NITROGÊNIO.

A FIGURA 12 apresenta o peso molar de água produzida a partir da queima de uma molécula para o etanol, como já foi definido anteriormente o gás nitrogênio não será mostrado para centralizar a análise na produção gás carbônico e água.

### 3.2.2.3. Produção de água a partir de gasolina comercial E25

A gasolina comercial E25 contém 25% da sua quantia líquida em etanol, no entanto não se pode simplesmente considerar que esta proporção se mantém nas medidas molares de reação. Para isto tem-se que converter a partir dos valores de peso específico de cada substância a proporção exata desta mistura, e então a partir deste valor realizar as alterações para cada queima com o coeficiente  $\alpha$ . Para se obter este valor segundo Masterton *et al.* (1990) considera-se a massa específica da gasolina como  $0,800 \text{ g/cm}^3$ , a água como  $1,000 \text{ g/cm}^3$  e o etanol como  $0,785 \text{ g/cm}^3$ . A proporção volumétrica inicialmente que dará a proporção molar final é mostrada na TABELA 7.

TABELA 7 - PROPORÇÃO DE OCTANA E ETANOL PARA CÁLCULO DE PROPORÇÃO MOLAR.

	$\text{C}_8\text{H}_{18}$	$x \cdot \text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
Massa molar (g/mol)	$8 \cdot 12 + 18 \cdot 1$	$x \cdot (2 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 1 \cdot 16)$
Peso molar (g)	114	$x \cdot 46$
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	$114 \text{ g} / 0,800$	$46 x / 0,785$
Volume (cm <sup>3</sup> )	142,5	$x \cdot 58,55$

O coeficiente  $x$  da TABELA 7 indica a quantidade molar de etanol que obedecerá a proporção, em líquido, de 75% para 25%. Assim quando se tem em volume 75% de gasolina pode-se definir a quantidade de etanol pela simples Equação (16).

$$0,75 = (142,5 + x \cdot 58,55) / 142,5 \quad (16)$$

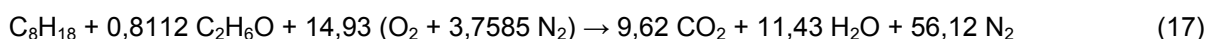
$$x = 0,8112.$$

O valor obtido significa que para cada molécula de  $\text{C}_8\text{H}_{18}$  da mistura E25 haverá 0,8112  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Assim esta será a real composição que será misturada com ar nas proporções do motor de ciclo Otto admissíveis. A relação Ar Combustível neste caso e a determinação de  $\alpha$  estão expostas a seguir (TABELA 8).

TABELA 8 - PROPORÇÕES DE A/C PARA MISTURAS EM COMBUSTÍVEL E25.

Combustível	Ar	A/C
330,957	4971,196	15,02065
386,588	5837,127	15,09911
464,470	6987,946	15,04500
581,293	8757,141	15,06494
775,998	11682,019	15,05418
1165,409	17496,102	15,01284
2333,641	35074,549	15,02997

A equação estequiométrica a qual corresponderá efetivamente a queima neste caso será apresentada conforme a Equação (17).



Como se pode confirmar nos gráficos anteriores, a quantidade de água produzida está diretamente ligada à quantidade de hidrogênio contida no combustível, substância que durante o processo de queima não sofre alteração de valor. Assim se define a quantidade de água produzida na reação estequiométrica, também se tem a produção para mistura rica ou pobre. No entanto, apesar de ter-se uma quantia de água produzida de forma significativa, o valor de referência, 11,43 moléculas de água, não tem uma interpretação de fácil entendimento. Para melhor compreensão convertem-se esses valores para volume em litros, assim pode-se saber exatamente quanto de água, na forma como se está acostumado a ver, líquida será produzida. A TABELA 9 mostra uma sequência de transformações que resultam na quantidade de água líquida para 100 litros de gasolina E25 consumida em um motor ciclo Otto.

TABELA 9 - QUANTIDADE DE ÁGUA PRODUZIDA NA COMBUSTÃO DE GASOLINA COMERCIAL E25.

	<b>C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> + 0,8112 C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O</b>	<b>11,43 H<sub>2</sub>O</b>
Massa molar (g/mol)	142,5 + 0,8112 · 58,55	11,43 · 18
Peso molar (g)	189,9	205,74
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	142,5/0,800 + (0,8112 · 58,55)/0,7856	205,74/1,000
Volume (cm <sup>3</sup> )	238,58	205,0
Volume (dm <sup>3</sup> )	0,238	0,205
Volume (l)	0,238	0,205
Volume (l)	100	86

Tem-se que para cada 100 litros de mistura gasolina etanol E25 serão produzidos 86 litros de água em estado líquido. Segundo Silva (2011) a quantidade volumétrica de emissões nocivas compostas de CO, NOx, HC (hidrocarbonetos não queimados) e MP (material particulado) fica em torno de 1 a 2% do volume total da queima. Por este fator desconsidera-se esta parcela de emissão produzida e reduz-se esta proporção da produção de água deduzida, para isto resulta-se então em 84,28 litros produzidos. Esta produção sai pelo escapamento direto para a atmosfera, em estado de vapor, com proporções volumétricas ainda maiores devido à diferença da densidade da água vaporizada. Ao medir este valor através de uma câmera termográfica pode-se garantir que o gás de emissão, incluindo a água, está acima de 150 °C, segundo a FIGURA 13, que mostra a temperatura do tubo de saída do escapamento de um gerador à gasolina usado para testes.

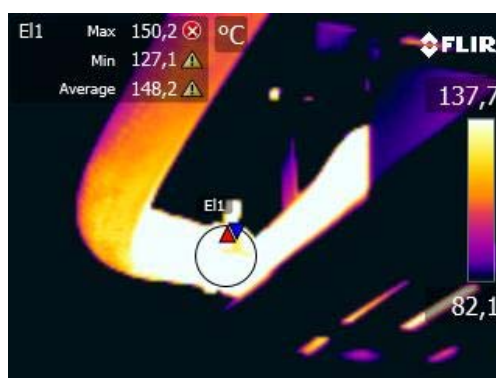


FIGURA 13 - IMAGEM TERMOGRÁFICA DA SAÍDA DO ESCAPAMENTO DO GERADOR.

A FIGURA 14 é a imagem real que gerou a FIGURA 13 termograficamente por meio de uma emissão infravermelha de temperatura.



FIGURA 14 – ESCAPAMENTO DO GERADOR.

Nota-se que na saída de ar o tubo de borracha tem temperatura mínima de  $127,1 \pm 2,4$  °C e temperatura máxima acima de  $150,2 \pm 3$  °C, pois esta temperatura foi o limite da câmara que tem duas faixas de medição e neste caso o limite máximo estava era 150,0 °C. Nesta temperatura sabe-se que a água estará em estado de vapor, analisando este dado pode-se concluir que quase toda a água produzida no motor é enviada para atmosfera em estado de vapor, sem agir com outras substâncias, então o motor produz água pura. Em dias frios consegue-se observar parte desta água condensando na saída do cano de escape de alguns automóveis.

### 3.2.3. Balanço de energia do sistema de cogeração

O controle deste sistema deverá ser feito através do balanço de energia de cada componente envolvido no sistema geral representado na FIGURA 11 já mostrada anteriormente. Assim considerando as entradas de ar, combustível e água salobra e as saídas de CO<sub>2</sub>, água potável e resíduo de sal, podemos através de um algoritmo calcular o quanto será produzido através do consumo de uma determinada quantia de combustível queimada e água salinizada bombeada.

A divisão do sistema de controle em volumes de controles menores facilita a análise de mudanças de estados dos reagentes e produtos do processo. Para isto 5 volumes de controle foram criados como visto na FIGURA 15.

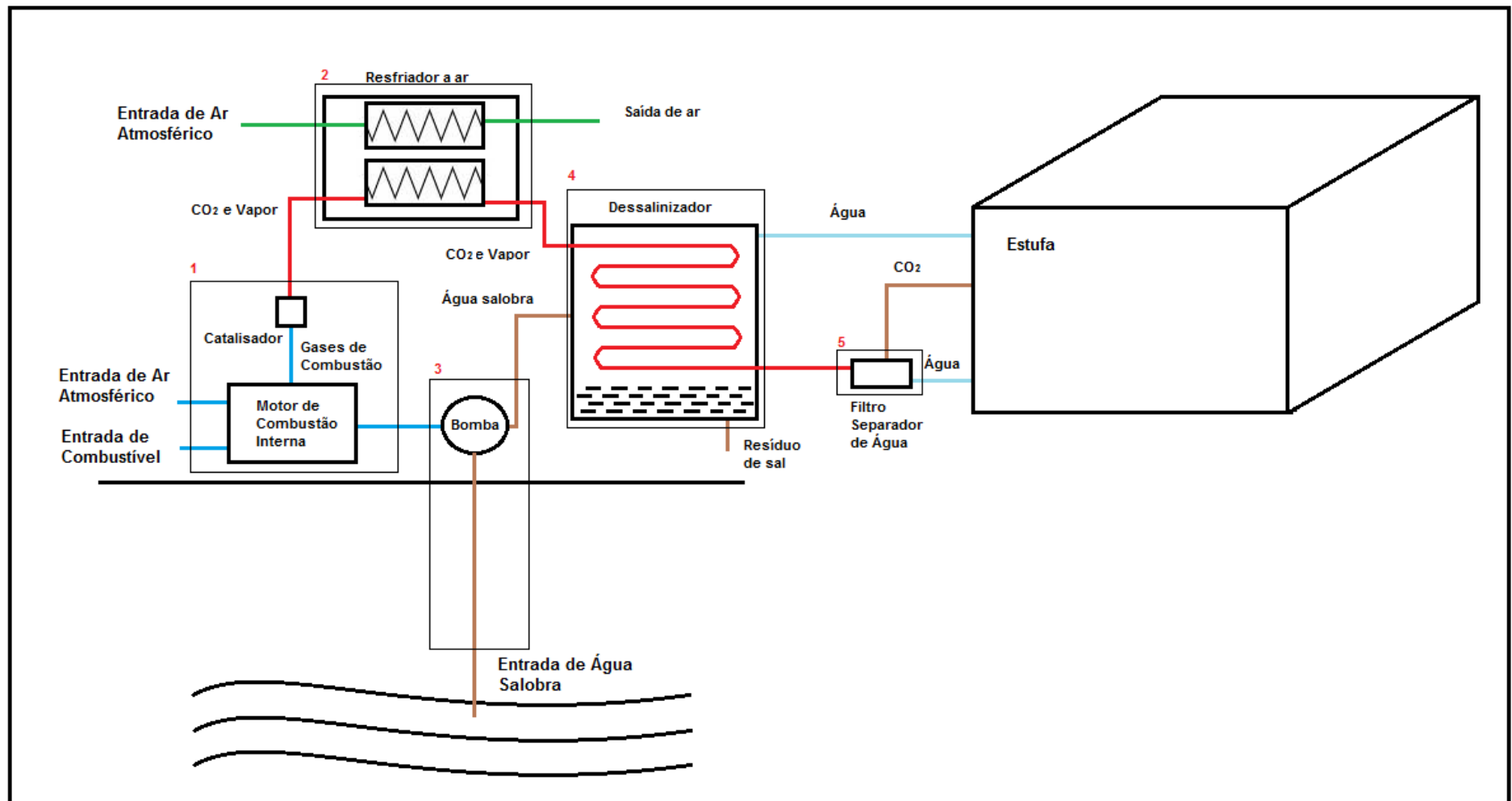


FIGURA 15 - SISTEMA A SER ESTUDADO PARA A UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO E A INJEÇÃO DE CO<sub>2</sub> DIVIDIDO EM VOLUMES DE CONTROLE PARA ANÁLISE DO BALANÇO DE ENERGIA.

Os volumes definidos são os equipamentos que modificam, em algum momento, os parâmetros de entrada dos reagentes do sistema. A divisão consiste em:

- 1 – Motor de combustão interna
- 2 – Resfriador a ar
- 3 – Bomba de água salinizada
- 4 – Dessalinizador
- 5 – Filtro Separador de Água

O balanço de energia geral é definido pela Equação (18) e cada situação deve ser analisada individualmente, pois os parâmetros são modificados em cada um dos casos.

$$\Delta EC + \Delta EP + \Delta U = Q - W \quad (18)$$

$\Delta EC$  = Variação de Energia Cinética (J)

$\Delta EP$  = Variação de Energia Potencial (J)

$\Delta U$  = Variação de Energia Interna do Sistema (J)

$Q$  = Transferência de Calor (J)

$W$  = Trabalho (J)

$$\Delta EC = EC_2 - EC_1 = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) \quad (19)$$

$EC$  = energia cinética (J)

$m$  = massa (kg)

$V$  = velocidade (m/s)

$$\Delta EP = EP_2 - EP_1 = mg (z_2 - z_1) \quad (20)$$

$EP$  = energia potencial (J)

$m$  = massa (kg)

$g$  = gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$z$  = altura (m)



O balanço da taxa de energia é definido pela Equação (21):

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left( h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (21)$$

Evc = Energia do volume de controle (J)

h = entalpia (kJ/Kg)

Quando o sistema é permanente a variação da Evc = 0, portanto para as análises apresentadas a seguir, como todas tratam de regime permanente, haverá a Equação (22) para o balanço do sistema proposto.

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left( h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (22)$$

Para cada volume de controle estudado será feita uma análise específica do balanço de energia proposto acima.

### 3.2.3.1. Motor de combustão interna

O primeiro volume a ser analisado está representado na FIGURA 16, as entradas e saídas estão limitadas pela caixa externa.

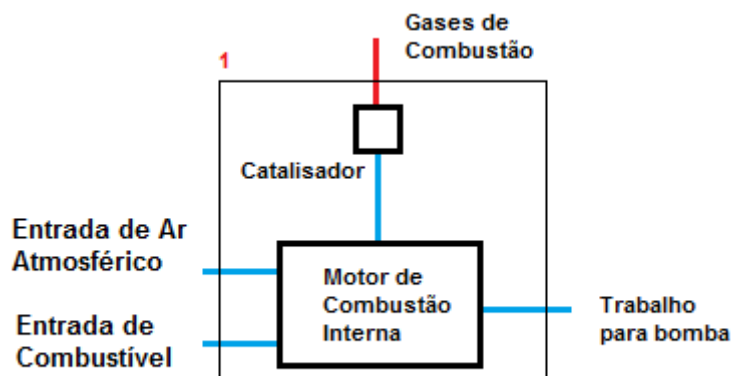


FIGURA 16 - VOLUME DE CONTROLE 1 – MOTOR A COMBUSTÃO.

Neste caso temos entrada de ar atmosférico e entrada de combustível que serão misturados pela relação A/C e sofrerão combustão na parte interna do motor. Como produto desta combustão, como já foi discutido anteriormente, haverá os gases de emissão que ao passarem pelo catalisador liberarão somente gás carbônico e água para saída do volume de controle. O motor também gerará, em seu eixo, trabalho para movimentação da bomba que succionará a água do poço submerso. Assim definidos o volume de controle 1 (VC1).

Balanço de energia do VC1:

$$0 = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_e \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \left( h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (23)$$

Alguns parâmetros devem ser considerados para o cálculo:

- O trabalho é exercido pelo VC1,  $W > 0$ .
- O calor é transferido do VC1,  $Q < 0$ .
- Não há variação de energia potencial, pois  $z_e - z_s = 0$ ,  $EP = 0$ .
- Não há variação de energia cinética, pois  $\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0$ ,  $EC = 0$ .

Para o caso do VC1 tem-se então a Equação (24) definida:

$$\dot{Q}_{vc} = \dot{W}_{vc} + \dot{m}_{ecomb} h_{ecomb} + \dot{m}_{ear} h_{ear} - \dot{m}_{sco2} h_{sco2} - \dot{m}_{sh20} h_{sh20} \quad (24)$$

### 3.2.3.2. Resfriador de ar

O segundo volume a ser analisado é o resfriador, que reduz a temperatura do gás de combustão para que possa ser trabalhado no dessalinizador sem problemas. Os gases estarão em temperatura superior a 150 °C enquanto a temperatura do ar atmosférico estará a, no máximo, 50 °C. A FIGURA 17 mostra o volume de controle 2 (VC2).

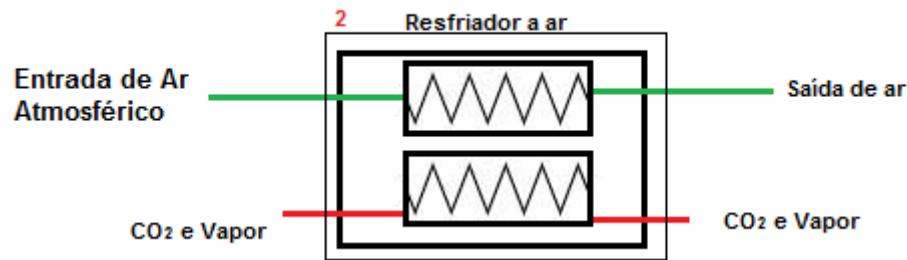


FIGURA 17 - VOLUME DE CONTROLE 2 – RESFRIADOR DE AR.

Como é um dispositivo natural, pois não se precisa inserir trabalho ao sistema para que a transferência de calor ocorra, ele acaba por ter baixo custo, e eficiência.

Os parâmetros considerados neste caso são:

- Não há trabalho exercido pelo VC2,  $W = 0$ .
- Não há transferência de calor do VC2,  $Q = 0$ .
- Não há variação de energia potencial, pois  $z_e - z_s = 0$ ,  $EP = 0$ .
- Não há variação de energia cinética, pois  $\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0$ ,  $EC = 0$ .

Define-se a Equação (25) considerando os pontos acima, então:

$$0 = \dot{m}_{eco2}h_{eco2} + \dot{m}_{eh20}h_{eh20} + \dot{m}_{ear}h_{ear} - \dot{m}_{sco2}h_{sco2} - \dot{m}_{sh20}h_{sh20} - \dot{m}_{sar}h_{sar} \quad (25)$$

### 3.2.3.3. Bomba de sucção da água salinizada

O terceiro volume é a bomba que será acionada pelo motor de combustão e succionará a água salinizada de um poço com profundidade pré definida. Esta água será mandada para o dessalinizador para separá-lo dos sais concentrados e torná-la potável. A FIGURA 18 mostra o simples esquema do volume de controle 3 (VC3).

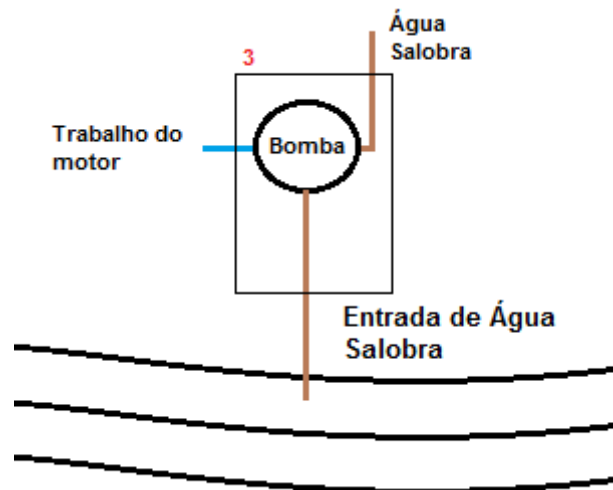


FIGURA 18 - VOLUME DE CONTROLE 3 – BOMBA DE SUCÇÃO DE ÁGUA SALINIZADA

Os parâmetros considerados neste caso são:

- Há trabalho exercido sobre o sistema VC3,  $W < 0$ .
- Não há transferência de calor do VC3,  $Q = 0$ .
- Há variação de energia potencial, pois  $z_e \neq z_s$ .
- Não há variação de energia cinética, pois  $\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0$ ,  $EC = 0$ .

Pela Equação (26) o balanço de energia neste caso será definido por:

$$\dot{W}_{vc} = \dot{m}_{sh20} h_{sh20} - \dot{m}_{eh20} h_{eh20} - \dot{m}_{eh20} g z_{eh20} \quad (26)$$

#### 3.2.3.4. Dessalinizador

O quarto volume de controle trata-se de um dessalinizador que purifica a água salobra através da evaporação por aquecimento da água, o sal se mantém sólido e precipita dentro do equipamento. Como a emissão do motor têm alta temperatura, a transferência de calor será mais eficiente que os sistemas de evaporação comum, além de auxiliar no resfriamento da própria emissão que necessita de uma temperatura menor na saída do sistema. A FIGURA 19 representa o esquema desta purificação no volume de controle 4 (VC4).

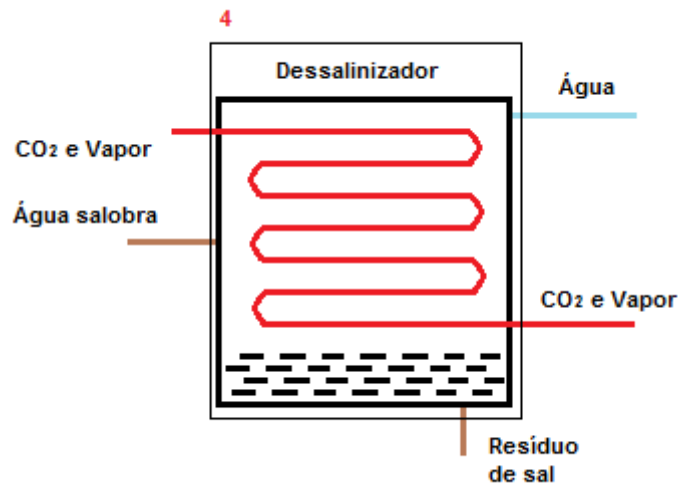


FIGURA 19 - VOLUME DE CONTROLE 4 – DESSALINIZADOR

Os parâmetros considerados no VC4 são:

- Não há trabalho exercido sobre o sistema VC4,  $W = 0$ .
- Não há transferência de calor do VC4,  $Q = 0$ .
- Não há variação de energia potencial, pois  $z_e - z_s = 0$ ,  $EP = 0$ .
- Não há variação de energia cinética, pois  $\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0$ ,  $EC = 0$ .

Só há variação da energia interna do sistema, por isto a Equação (27) a seguir representa:

$$0 = \dot{m}_{eco2} h_{eco2} + \dot{m}_{eh20} h_{eh20} + \dot{m}_{eh20sal} h_{eh20sal} - \dot{m}_{sco2} h_{sco2} - \dot{m}_{sh20} h_{sh20} - \dot{m}_{sres} h_{sres} - \dot{m}_{sh20liq} h_{sh20liq} \quad (27)$$

### 3.2.3.5. Filtro separador de água

Nesta quinta etapa há o separador constituído de um filtro aspergido por Teflon PFTE que por sua higrofbia separa o gás carbônico da água proveniente da emissão que foi resfriada em duas etapas, 2 e 4, anteriores. O volume de controle 5 (VC5) na FIGURA 20 mostra este processo.

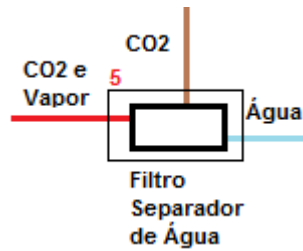


FIGURA 20 - VOLUME DE CONTROLE 5 – FILTRO SEPARADOR DE ÁGUA

Os parâmetros analisados nesta etapa são:

- Não há trabalho exercido sobre o sistema VC5,  $W = 0$ .
- Não há transferência de calor do VC5,  $Q = 0$ .
- Não há variação de energia potencial, pois  $z_e - z_s = 0$ ,  $EP = 0$ .
- Não há variação de energia cinética, pois  $\frac{1}{2} (V_2^2 - V_1^2) = 0$ ,  $EC = 0$ .

Assim como a etapa 4 neste caso só há alteração da energia interna no sistema. A Equação (28) mostra este cálculo.

$$0 = \dot{m}_{eco2} h_{eco2} + \dot{m}_{eh20} h_{eh20} - \dot{m}_{sco2} h_{sco2} - \dot{m}_{sh20} h_{sh20} \quad (28)$$

#### 3.2.4. Sistema de cogeração otimizado com reaproveitamento de energia eletroquímica

Um novo sistema de cogeração foi pensado a partir do melhor aproveitamento da diferença de salinidade entre a água salobra sugada do poço profundo e água supersalinizada do tanque de resíduos. Baseado no primeiro sistema estudado.

A FIGURA 21 mostra o novo esquema com o sistema de geração de energia eletroquímica.

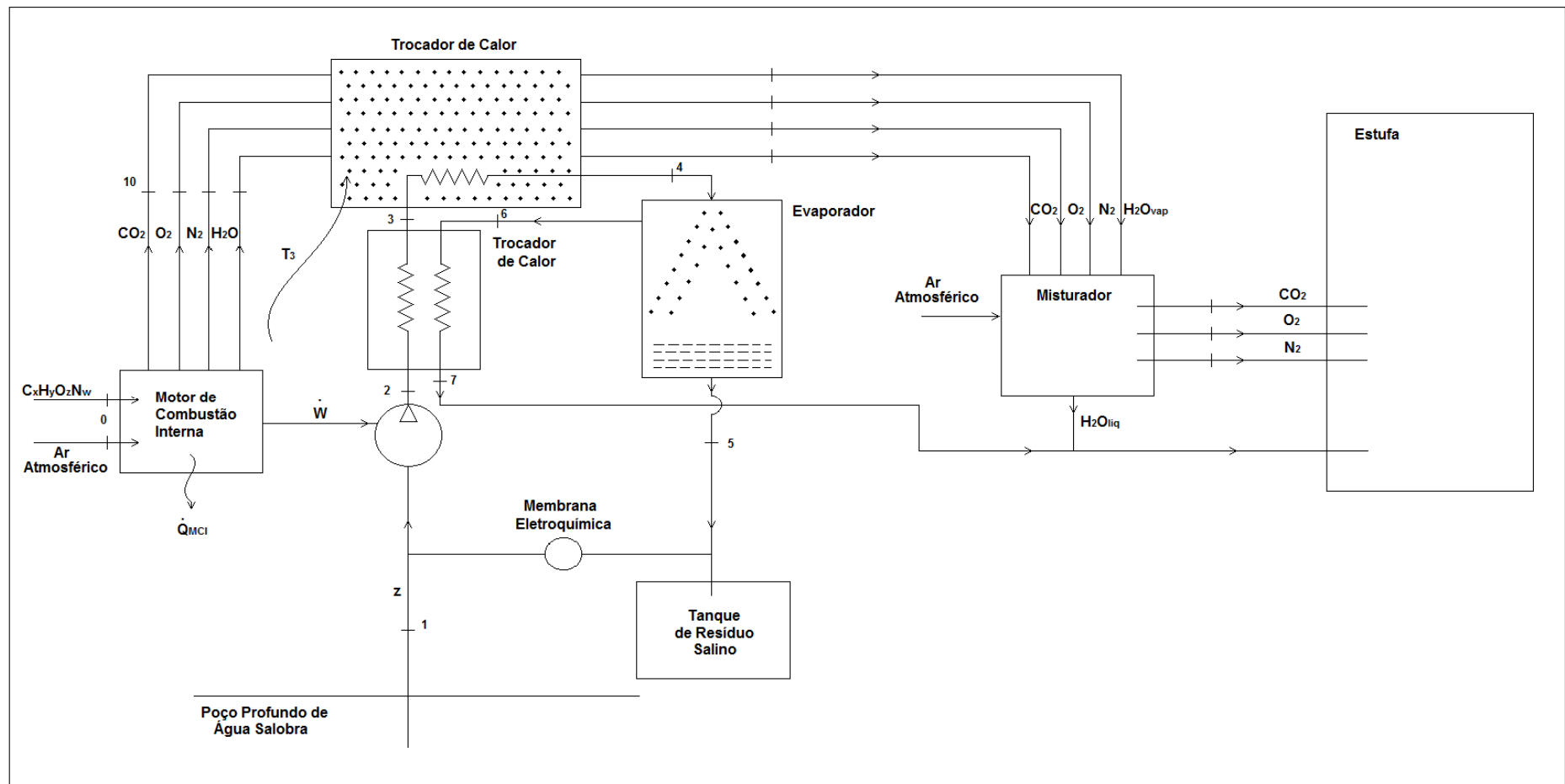


FIGURA 21 - SISTEMA DE COGERAÇÃO OTIMIZADA COM GERADOR ELETROQUÍMICO

A água salobra de um poço profundo (ponto 1) será bombeada (ponto 2) para um trocador de calor que iniciará o processo de aquecimento da água. No ponto 3 a água passará por outro trocador de calor, alimentado pelos gases de combustão vindos do motor de combustão interna. A água, ainda salinizada, em estado de vapor passará pelo ponto 4 entrando no dessalinizador por evaporação, será separada do sal, que precipita, e retorna ao primeiro trocador de calor, agora para resfriar. Após resfriada, ela vai para a estufa.

O gás de combustão produzirá água em estado de vapor que passará pelo trocador de calor, resfriando, e depois vai para um misturador de gases, com ar atmosférico. A água resfriará, precipitará e poderá ser utilizada na estufa.

Para a solução deste esquema foi utilizado o sistema de interação termodinâmica por meio de algoritmo, conforme apresentado no ANEXO 1. As variações de entrada de dados dependerão das características de instalação do sistema. Pois a definição de combustível, tipo de motor, tamanho de estufa dependerá de estudos direcionados para o desenvolvimento deste projeto.

Três variações foram simuladas: CH<sub>4</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> e C<sub>16</sub>H<sub>24</sub>. Representando respectivamente gás natural, gasolina e Diesel. Os parâmetros medidos após cada alteração encontra-se no ANEXO 2.

### 3.3. ANÁLISE DE INCERTEZAS

As análises de erros e incertezas expostas neste trabalho foram baseadas na seguinte sequência de cálculo:

A média é apresentada na Equação (29) a seguir:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (29)$$

$\bar{x}$  = média das medições

n = número de medições

$x_i$  = valor de cada leitura



O cálculo do desvio médio a relativo à média das medições é representado pela Equação (30).

$$d_i = x_i - \bar{x} \quad (29)$$

$d_i$  = desvio relativamente à média medida a partir das amostras

O valor absoluto do desvio médio na Equação (31) é apresentado da seguinte forma.

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (31)$$

$\delta$  = valor absoluto do desvio médio

O desvio padrão experimental é medido como na Equação (32).

$$s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (32)$$

$s$  = desvio padrão

As incertezas medidas foram baseadas a partir das incertezas de 4 tipos: relativo à incerteza proveniente da medição propriamente dita (tipo A), incerteza com relação à medição combinada, incerteza de medição do padrão utilizado e incerteza em função da resolução. Estas incertezas combinadas resultarão na seguinte Equação (33).

$$U_c = \sqrt{U_a^2 + U_{pad}^2 + U_{res}^2} \quad (32)$$

$U_c$  = incerteza de medição combinada

$U_a$  = incerteza de medição do tipo A

$U_{pad}$  = incerteza de medição padrão utilizado

$U_{res}$  = incerteza de medição em função da resolução

A incerteza tipo A ( $U_a$ ) é mostrada na Equação (33) e a incerteza em função da resolução na Equação (34).

$$U_a = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (33)$$

$$U_{res} = \frac{res}{2} \quad (34)$$

res = resolução em função da escala do equipamento

O cálculo da incerteza expandido é calculado pela Equação (35).

$$U_{95} = U_c k \quad (32)$$

$U_{95}$  = incerteza de medição expandida com nível de confiança de 95%

k = fator de abrangência para um nível de confiança aproximado de 95%

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. RESULTADOS DOS EXPERIMENTOS

#### 4.1.1. Trocador de calor de PVC instalado em motor de automóvel

Para a produção de água por motores vários fatores tiveram que ser considerados, o principal deles é que a captação em estado de vapor seria bastante complicada, pois outros gases estão diluídos na emissão veicular e a temperatura é muito alta para manuseio. A água foi condensada, pois a menos de 100 °C em média a água estará em estado líquido.

O experimento da obtenção da água no trocador de calor foi filmado para que a vazão pudesse ser estimada, o carro ficou em ponto morto, ou seja, ligado mas não em estado de aceleração, e desta maneira o recipiente de 80 ml foi preenchido em aproximadamente 9 minutos, ou seja 8,88 ml/min. Tempo muito abaixo do que imaginou-se, pois a estimativa inicial era de pelo menos 2 horas. Os primeiros 2 minutos a aquisição foram mais lentos, pois no início do processo a temperatura teve que se estabilizar, regime transiente, depois que o processo entrou em regime permanente a velocidade de formação do líquido tornou-se maior. A FIGURA 22 apresenta a amostra final do teste.



FIGURA 22 - LÍQUIDO OBTIDO NO ESCAPAMENTO DE UM AUTOMÓVEL

Como este experimento foi somente para validar a possibilidade de condensar a água produzida, este líquido obtido não foi mandado para análise, pois também tratava-se de uma amostra contaminada. Outro experimento foi criado para

efetivamente validar a produção da água em motores de combustão interna, com tomada de temperatura para poder garantir os pontos do processo de vapor e temperatura de liquefação do líquido.

Apesar da proposta inicial ser investigar a produção de água em automóveis a possibilidade de estender esta pesquisa para qualquer tipo de combustão interna abriu a margem das possibilidades de experimentos, e melhor controle sobre eles. Para manter as análises sobre automóveis seriam necessárias medições em laboratórios certificados e ambientes controlados, além de equipamentos de alto custo e disponibilidade de tempo destes lugares.

#### 4.1.2. Trocador de calor instalado em um gerador à gasolina

O conjunto gerador-resfriador em estado permanente está representado na FIGURA 23 onde a FIGURA 23a representa a termografia do experimento e a FIGURA 23b a imagem real. Nota-se que a variação da temperatura ocorre de forma intensa, as cores e suas respectivas temperaturas são representadas na barra ao lado da figura sendo o que estiver mais claro apresentando calor e quanto mais escuro mais frio.

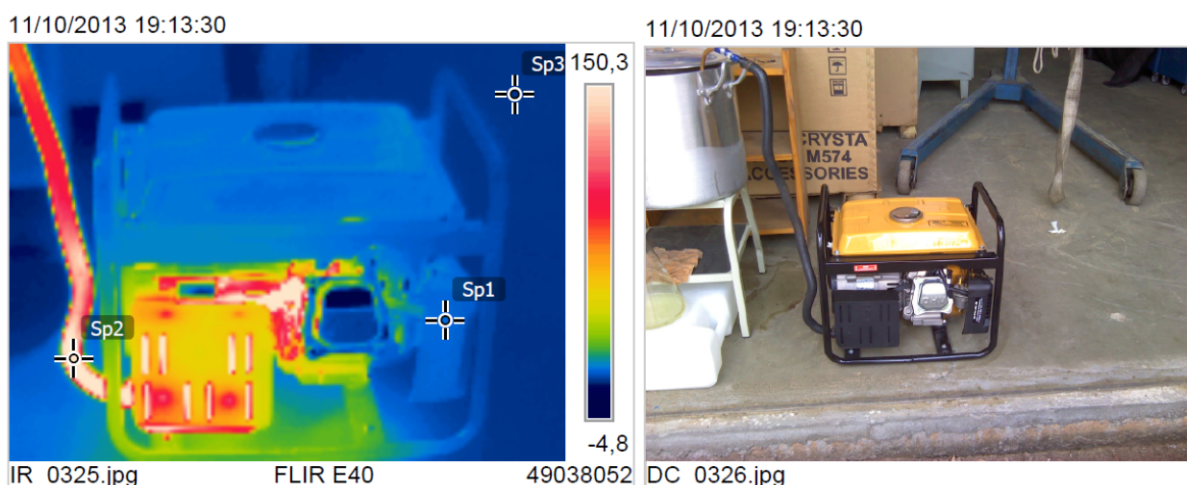


FIGURA 23 - (A) IMAGEM TERMOGRÁFICA DO GERADOR EM TESTE. (B) GERADOR EM TESTE.

Os pontos marcados representam as temperaturas medidas especificamente naqueles lugares, sendo a temperatura de tomada de ar  $Sp1 = 30,1 \pm 2^\circ \text{C}$ , a temperatura da mangueira onde ocorre a saída de ar do escapamento do gerador

Sp2 >  $150,3 \pm 3$  °C e a temperatura ambiente Sp3 =  $23,8 \pm 2$  °C. No caso específico de Sp2 a temperatura média é superior a determinado valor porque neste caso chegou ao limite de medição do equipamento, portanto sabe-se que atingiu esta medida mas não o quanto superou ela. Apesar do equipamento possuir uma faixa de medição que chega a 650 °C, o limite inferior deste modo de medição é 0 °C, que seria no caso deste teste uma temperatura crítica e importante. Por isto optou-se para o modo de medição de - 20 °C a 150 °C. Pois com aproximadamente 100 °C já pode-se afirmar que está na fase de vapor da água, e mais abaixo deste valor na fase líquida.

A condensação do vapor ocorrerá na serpentina que foi resfriada por gelo, este processo de resfriamento está representado na FIGURA 24 onde a FIGURA 24a representa a serpentina e seu gradiente de temperatura e a FIGURA 24b a situação real.

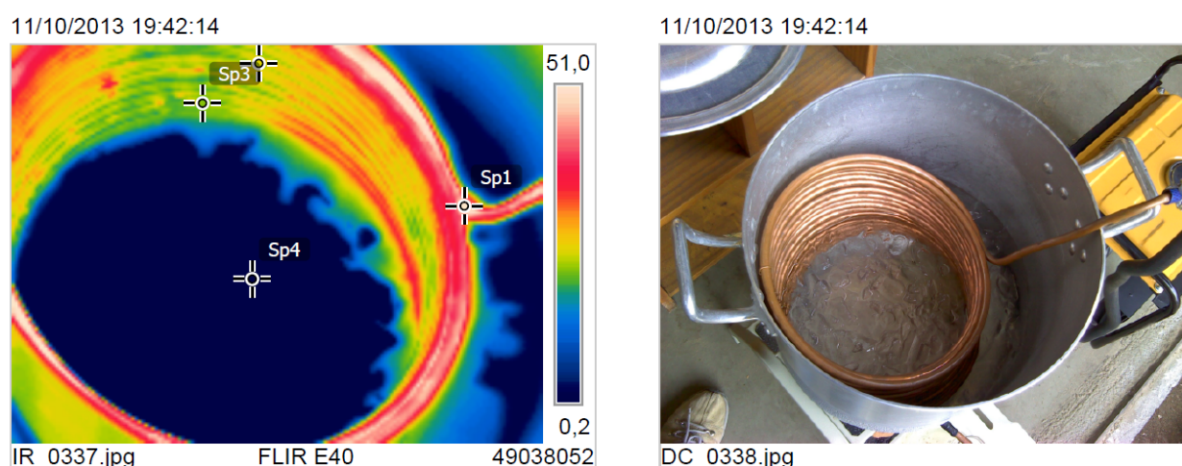


FIGURA 24 - (A) IMAGEM TÉRMICA DO TROCADOR DE CALOR. (B) TROCADOR DE CALOR.

Os pontos medidos neste caso são a serpentina na entrada do gás de emissão do gerador Sp1 =  $51,7 \pm 2$  °C, o ponto de entrada do gás na serpentina Sp2 =  $26,9 \pm 2$  °C (este ponto está acima da inscrição Sp3 na figura a), o ponto de entrada do gás pela serpentina na parte submersa no gelo Sp3 =  $24,5 \pm 2$  °C e a temperatura da mistura gelo e água gelada Sp4 =  $-2,2 \pm 2$  °C.

A temperatura de saída da serpentina foi medida de maneira que se conseguisse medir a temperatura da água liquefeita dentro do sistema, esta medição tem que ser mais precisa, pois o ponto teria que ser exatamente na gota do líquido que gotejou da ponta da saída. Assim, na saída do experimento temos a medição

mostrada na FIGURA 25, sendo a FIGURA 25a a imagem termográfica e a temperatura do líquido na saída e FIGURA 25b a imagem real.

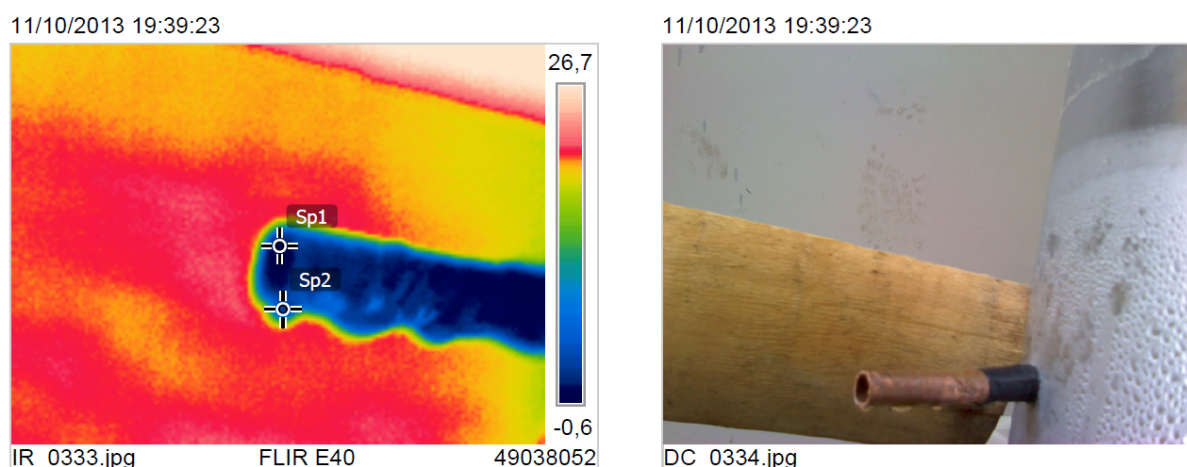


FIGURA 25 - (A) IMAGEM DA SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR, TEMPERATURA DO LÍQUIDO NA SAÍDA. (B) SAÍDA DO TROCADOR DE CALOR.

As temperaturas nos pontos marcados nesta medição são a temperatura na parte interior do tubo na saída  $Sp1 = 0,3 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e a temperatura do líquido que saiu da serpentina  $Sp2 = 2,8 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . A esta temperatura podemos afirmar que parte do líquido que está saindo da serpentina é água.

Segundo Schäfer (1995), no máximo 1,1% da emissão total veicular é composta de hidrocarbonetos não queimados e emissões nocivas e o restante é gás carbônico e água. E o  $\text{CO}_2$  encontra-se em estado gasoso na temperatura  $2,8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . O que indica claramente que 98,9% pelo menos de todo líquido obtido é água liquefeita.

A medição de produção de água a partir de uma certa medida de gasolina comercial também foi realizada. Para isto foi medida a quantidade de combustível colocada no tanque do gerador antes e depois do processo efetuado. O volume de gasolina queimada no gerador foi de 170 ml e a quantidade de líquido produzida a partir deste valor foi de 120 ml. Podemos desta maneira afirmar que nesta medição prática 70,58%, abatendo deste valor os 1,1% de hidrocarbonetos não queimados e emissões nocivas, temos que 69,80% do valor em volume líquido da gasolina queimada em um motor ciclo Otto de 4 tempos torna-se água líquida. Este valor em estado de vapor é muito maior devido a diferença de densidade para os estados físicos líquido e gasoso da água.

A amostra recolhida foi enviada para análise. Como a maioria das emissões mantêm-se em estado gasoso, a escolha da análise dependeu do que poderia

efetivamente estar em estado líquido juntamente com a água condensada. Por isto foi decidido medir o teor de hidrocarbonetos não queimados. Inicialmente 10 ml da amostra foram diluídos com 2 ml de *n*-heptano para separar os hidrocarbonetos da solução aquosa. O líquido separado foi analisado em um cromatograma gasoso. A análise da fase inicial encontra-se na FIGURA 26.

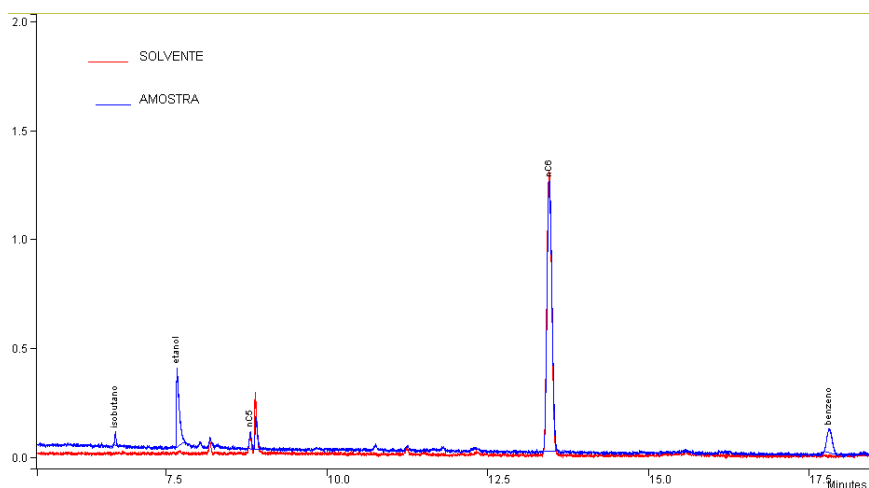


FIGURA 26 - CROMATOGRAFIA DO INÍCIO DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO

O traço em vermelho é do solvente que serve de parâmetro para comparação com as substâncias que surgirão na amostra. Logo nos minutos iniciais do experimento surgem uma pequena parcela de isobutano, substância incomum para emissão veicular, e etanol. Como trata-se de gasolina comercial obtida em posto de gasolina comum, o vestígio de etanol mesmo na emissão é esperado. Em aproximadamente 17,5 minutos há vestígio de benzeno.

A FIGURA 27 mostra a faixa de 70 a 90 minutos.

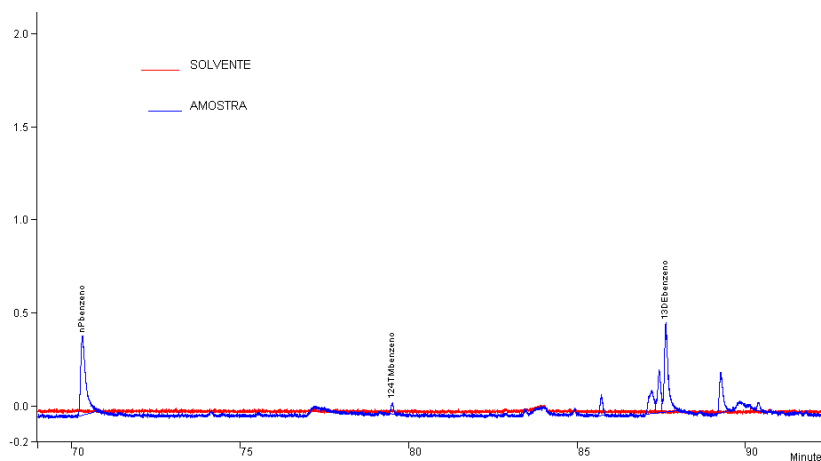


FIGURA 27 - CROMATOGRAFIA, DA FASE INTERMEDIÁRIA, DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO

Outros hidrocarbonetos aromáticos foram identificados após mais tempo de teste.

Na fase intermediária da análise outras variações de benzeno foram identificadas. Como se parametriza pelo solvente, estas substância identificadas estão contidas somente na amostra, não havendo possibilidade de ser vestígio do solvente.

A fase final da análise está representada na FIGURA 28.

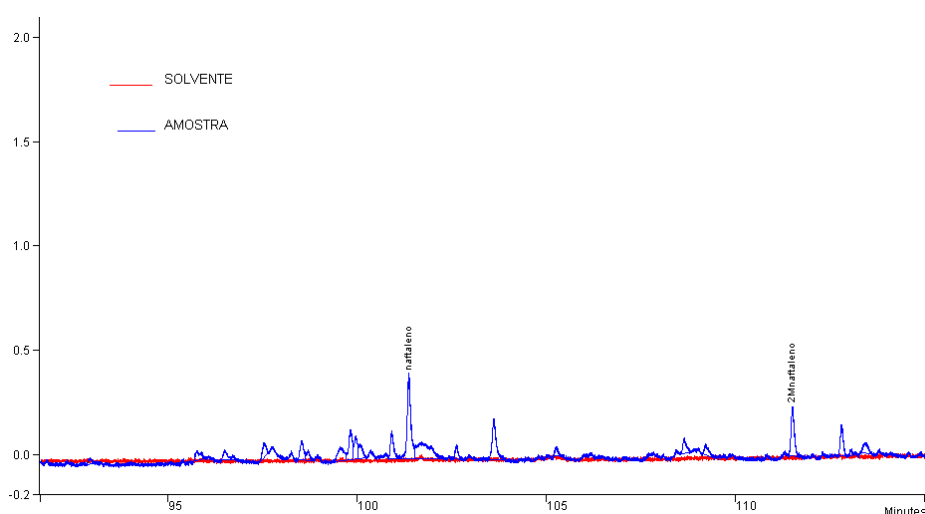


FIGURA 28 - CROMATOGRAFIA, DA FASE FINAL, DA ANÁLISE DOS HIDROCARBONETOS CONTIDOS NO EXTRATO DE ÁGUA DA COMBUSTÃO

Entre 100 e 115 minutos foram identificados compostos de naftaleno, outro hidrocarboneto aromático contido na amostra.

#### 4.1.3. Identificação de água na emissão a partir de análise em banco de motores medidos por FTIR

A emissão de combustão é captada a cada segundo e medida, em proporção percentual do total do volume emitido, por infravermelho. Os dados obtidos foram de 3 testes feitos em um automóvel de motor 1.6 cilindrada, o gráfico gerado inicialmente trata-se de uma faixa intermediária de tempo que compreende entre 500 e 700 segundos de teste. Esse valor foi escolhido pelo ensaio já ter saído da fase transiente inicial e ter entrado em regime permanente. A FIGURA 29 representa a porcentagem de água em estado gasoso medida a cada instante.



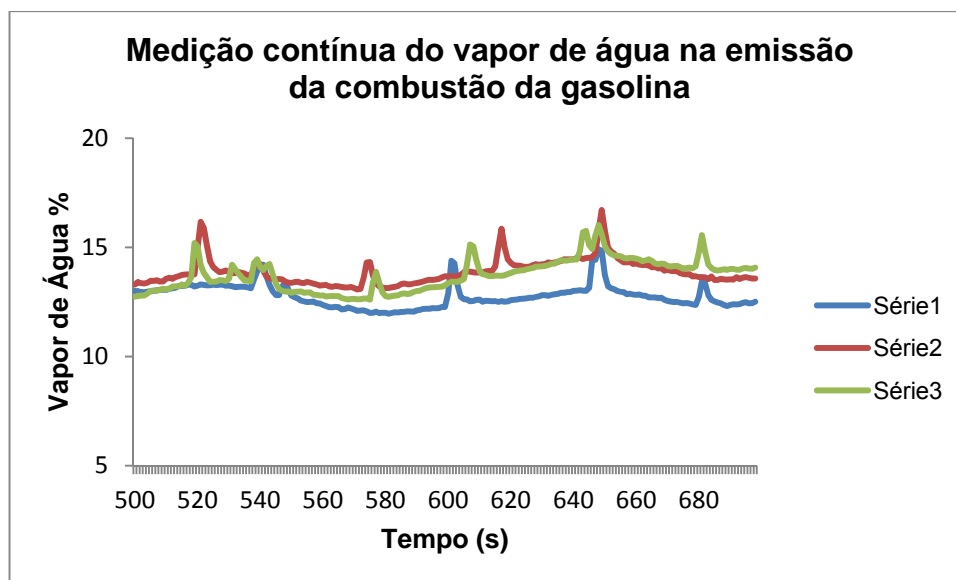


FIGURA 29 - PORCENTAGEM DE VAPOR DE ÁGUA PRODUZIDO A CADA INSTANTE NA EMISSÃO DE COMBUSTÃO DE GASOLINA

Uma análise mais detalhada foi realizada a partir dos mesmos dados obtidos. Neste caso foram medidos os valores de pontos específicos desde o primeiro momento de realização do teste até 1500 segundos, variando de 100 em 100 segundos. A FIGURA 30 representa a porcentagem de água produzida em cada um desses instantes.

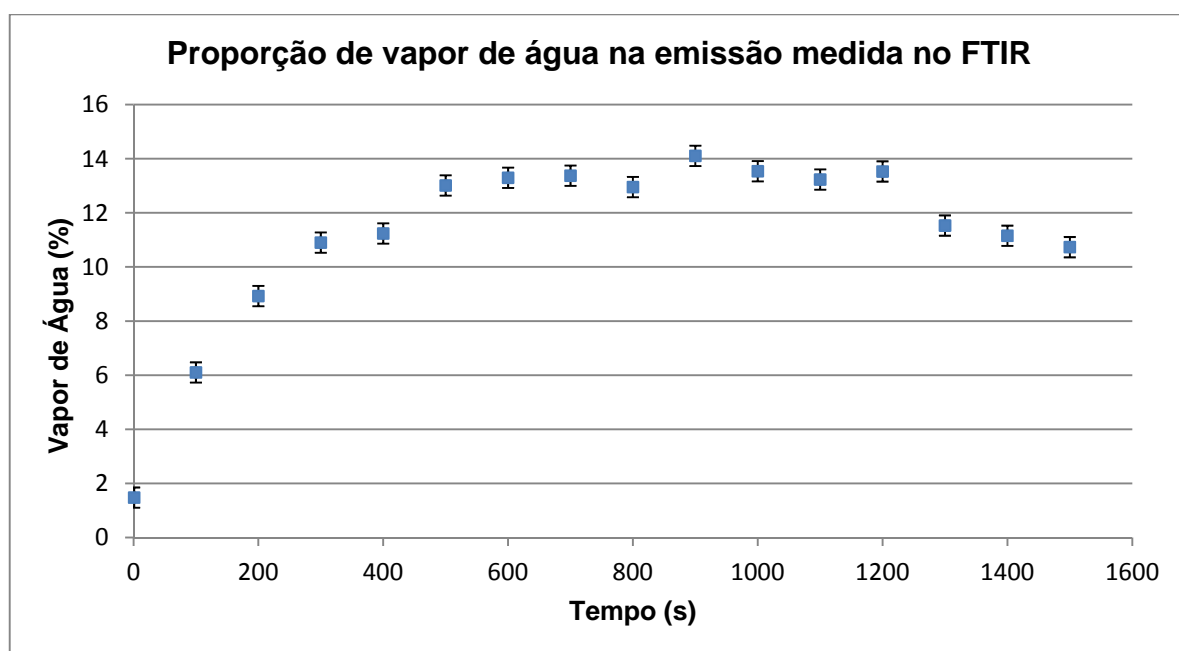


FIGURA 30 - MEDIÇÃO DE VAPOR DE ÁGUA NA EMISSÃO A CADA 100 SEGUNDOS.

Como se tratam de 3 medições para cada ponto, foi calculada a média e desvio padrão para todas as medidas.

Pode-se observar que a faixa de produção de água varia de 0,6% a 14% aproximadamente quando o motor entra em regime permanente de uso, a média calculada no gráfico é de 11,197%. Como está se considerando esta substância em estado de vapor pode-se calcular a quantia de água que estaria contida em 1 m<sup>3</sup> volumétrico. Com densidade de 0,7489 kg/m<sup>3</sup>, e o valor volumétrico emitido durante toda medição FIGURA 31 pode-se calcular a quantidade de água produzida neste experimento por m<sup>3</sup> de emissão.

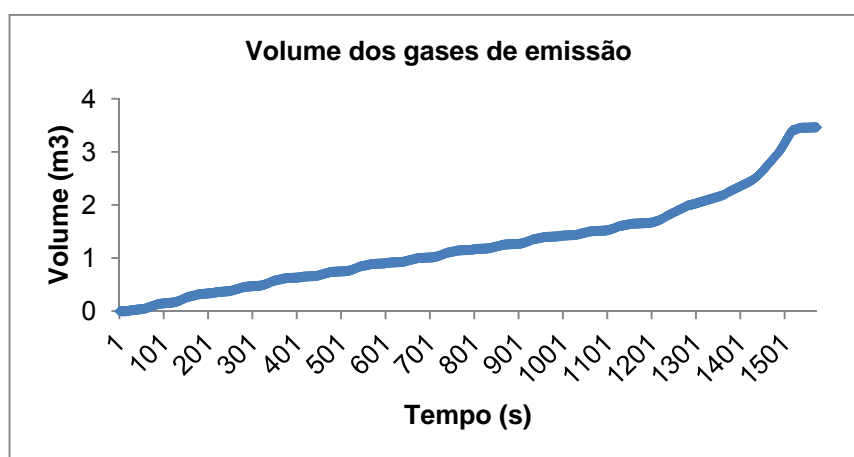


FIGURA 31 - VOLUME DE GASES PROVENIENTE DA EMISSÃO VEICULAR.

No tempo máximo do experimento, que são exatamente 1573 segundos, foram expelidos, em média dos 3 testes executados, pelo escapamento do automóvel testado 3,46 m<sup>3</sup> de gases de emissão. Este valor consiste somente nos gases de emissão, descontando todo ar de entrada para reação.

Considerando o valor anterior de porcentagem de vapor de água produzido na emissão, que consiste em média de 11,19%, define-se que do volume total produzido tem-se 0,387 m<sup>3</sup> de vapor de água.

Para a densidade medida pelo próprio equipamento a massa de água produzida é calculada a partir da multiplicação deste valor pelo volume. Assim como é produzido então 0,289 gramas de água na emissão medida, para o valor total calculado da emissão.

Considerando a densidade de água líquida que é de 1000 kg/m<sup>3</sup>, este valor representa então 0,289 litros, ou então 289 mililitros, em 3,46 m<sup>3</sup>. Para a redução da

produção por unidade de volume, ou seja, em  $1 \text{ m}^3$ , há a produção de 0,08352 litros, ou 83,52 mililitros.

#### 4.1.4. Estufa de cogeração de produção de gás carbônico, água e energia elétrica.

A estufa alimentada pelos gases de combustão e água dessalinizada é uma proposta para o aproveitamento da água da combustão. Por este motivo ela é uma sugestão de aplicação prática do princípio constado neste trabalho.

Ao simular o algoritmo com gás natural, gasolina e diesel foram obtidos resultados para todas as etapas do processo partindo de alguns dados iniciais:

- Temperatura inicial:  $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Potência do motor de combustão interna: 1000 kW;
- Potência da bomba d'água: 50 kW
- Pressão inicial: 100 kPa;
- Pressão pós bomba: 700 kPa;
- Gravidade:  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;
- Profundidade do poço: 10 metros.

Na TABELA 10 estão os principais dados obtidos após interagir os valores iniciais e alterar o tipo de combustível utilizado.

TABELA 10 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES COM VARIAÇÃO DE COMBUSTÍVEL NO SISTEMA DE COGERAÇÃO.

Variáveis medidas/Combustível	CH <sub>4</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>
Consumo (kg comb/kg água)	0,1339	0,1598	0,1772
Massa Combustível (kg)	0,7248	0,8651	0,9595
Massa H <sub>2</sub> O - Combustão (kg)	1,631	1,229	0,9595
Massa H <sub>2</sub> O - Dessalinizador (kg)	5,414	5,414	5,414

Acima tem-se quanto de combustível é necessário para a produção de 1 kg de água dessalinizada, a quantidade de combustível consumida pelo sistema em kg, a massa de água obtida pela combustão e pelo dessalinizador.

## 4.2. DISCUSSÃO

### 4.2.1. Produção de água nos experimentos realizados

O primeiro teste proposto realizado foi resfriar a água da evaporação por meio de trocador de calor de PVC para comprovação da produção deste produto, a partir da combustão de etanol, foi confirmada. A quantidade de água produzida no experimento é de 8,88 ml/min, seria aproximadamente o valor de água que o carro emite para a atmosfera se estiver parado no trânsito com o motor ligado. Em uma hora a produção chegará a mais de 500 ml, ou seja, um carro ligado parado produz no mínimo meio litro de água em estado líquido, emitida para a atmosfera em estado de vapor.

No segundo teste realizado foi utilizado o gerador à gasolina para controle de entrada e saída de combustível e coleta de amostra da água condensada para análise cromatográfica. Ao medir o volume de extrato líquido a partir da queima de combustível obteve-se a produção, em análise teórica de 69,80% de água, descartando os valores confirmados na literatura de emissões nocivas. Ao enviar o extrato de água da combustão para análise cromatográfica para medição de hidrocarbonetos, pois estes são os elementos mais prováveis quando se liquefaz a emissão, os demais compostos encontram-se em estado gasoso mesmo na temperatura de resfriamento proposta, os resultados obtidos confirmaram a presença de algumas substâncias comuns como o etanol e outras substâncias não tão comuns assim. Na análise dos hidrocarbonetos não queimados foram reveladas presenças de vários hidrocarbonetos aromáticos como benzeno e naftaleno. Estas substâncias são cancerígenas e mutagênicas, e sua presença é um dado preocupante, pois são substâncias não regulamentadas mas altamente prejudiciais à saúde e ao meio ambiente. Podem contaminar, por exemplo, lençóis freáticos quando misturadas e dissolvidas em água. Só são citadas nas resoluções regulamentadoras como hidrocarbonetos não-metano (NMHC). Portanto, apesar de haver uma água em quantia realmente considerável, a metodologia de condensá-la traz consigo elementos que impossibilitam sua utilização de forma segura. Somente com tratamentos posteriores pode-se considerar a possibilidade de reutilização desta água de forma segura.

O terceiro teste realizado foi a medição de emissão de água em estado de vapor no FTIR. Os resultados obtidos foram de uma produção média entre 0,6% a 14%, mais precisamente 11,19% de água produzida na emissão veicular. Esta água está em estado de vapor com densidade definida no experimento e conclui-se que são produzidos 83,52 ml de água por m<sup>3</sup> de emissão produzida. Este valor desconsidera a umidade do ar de entrada, que é medida e descontada no cálculo realizado pelo equipamento.

#### 4.2.2. Viabilidade da implementação da estufa de cogeração de energia e produção de água e gás carbônico

A construção da estufa para aproveitamento da água produzida na geração de energia dependerá diretamente da capacidade de separar a água produzida na emissão de todos os outros elementos nocivos provenientes da combustão. Isto porque em estágios de temperaturas diferentes, diversas substâncias surgirão. A presença dos hidrocarbonetos aromáticos ao condensar a água da emissão é preocupante se o objetivo final é produzir alimentos, portanto descarta-se a possibilidade de separação por condensação. A escolha do combustível será de fundamental importância, pois cada um produz quantias de vapor de água conforme a sua quantidade de hidrogênios. Isto dependerá de cadeias longas e conseqüentemente, emissões mais variadas.

A produção de água a partir da combustão aumenta a eficiência da produção geral para a estufa. Esta eficiência tem os valores de 30,12%, 22,70% e 17,72% para o gás natural, gasolina e Diesel respectivamente.

A geração de energia pela diferença de potencial salino é viável, pois os sistemas mostrados são simples e eficientes. Desta maneira, além da produção de alimento, quando solucionada a questão das emissões nocivas, o sistema poderá alimentar com energia elétrica a comunidade ao qual será instalado.

## 5. CONCLUSÕES

Toda combustão proveniente da queima de combustíveis que possuam em sua composição hidrogênio produz água, em maior ou menor quantia, mas em quantidade suficiente para ser reaproveitada. Esta água tem sido enviada para a atmosfera sem nenhum sistema de reaproveitamento. O método mais eficaz é a separação dela em estado de vapor, desta forma ela não condensa consigo elementos contaminantes da própria emissão, principalmente hidrocarbonetos aromáticos não queimados altamente nocivos.

Os motores de combustão interna, tipo geradores, aumentam em até 30% a eficiência na geração de água, e ainda produz em energia e gás carbônico em regiões de grande escassez auxiliando sistemas de dessalinização, tanto na parte de bombeamento como na evaporação da água separando-a dos sais contidos no subsolo do semiárido brasileiro.

Os sais residuais da dessalinização podem, por meios eletroquímicos, gerar energia para regiões de difícil acesso às redes elétricas.

Assim o sistema geral de cogeração de energia se mostra eficiente e aplicável, só sendo necessário uma separação eficiente do vapor de água.

Para futuros estudos de desenvolvimento a partir dos conceitos definidos neste trabalho:

- Avaliar a possibilidade de estufas aquecidas em regiões frias através de troca de calor com os gases de combustão. E com o potencial de eixo do motor produzir energia elétrica. Evitando assim os malefícios das geadas.
- Aproveitamento da água de combustão em sistemas à Diesel que possuem grande potencial por conta da maior quantidade de hidrogênios contidos em suas moléculas, como caminhões ou grandes geradores de energia.
- Aplicação prática da estufa proposta com sistema de controle inteligente que alimenta a estufa com gás carbônico e água a partir da identificação da necessidade do sistema por meio de sensores e microcontroladores parametrizados.
- Estudo do impacto ambiental gerado pela produção de água dos automóveis em grandes centros urbanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKURDI, F.; KARABET, F., DIMASHKI, M. Characterization, concentrations and emission rates of polycyclic aromatic hydrocarbons in the exhaust emission from in-service vehicles in Damascus. **Atmospheric Reserch**. v. 120-121, p. 68-77, 2013.

ANA – **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil: 2013**. Agência Nacional das Águas, Brasília, 2013.

BAISCH, J. Data shortage in Africa. **Desalination**, 248, p. 524-529, 2009.

BRAUN, S.; APPEL, L. G. E SCHMAL, M. A poluição perada por máquinas de combustão interna movidas à Diesel - A questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. **Revista Química Nova**, v. 27, nº 3, p. 472-482, 2003.

BURKARTER, E. **Desenvolvimento de superfícies superhidrofóbicas**. 168 f. Tese (Doutorado em Física) - Setor das Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná. 2010.

CAMPOS, R. T. Avaliação benefício-custo de sistemas de dessalinização de água em comunidades rurais cearenses. **Engenharia Rural**, v. 45, n. 4, p. 963-984, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório Anual de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2005**. São Paulo, SP, 2006

CÔCCO, L. C. **Aplicação de redes neurais artificiais para previsão de propriedades da gasolina a partir de sua composição química**. 153 f. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2003.

CORRAL-VERDUGO, V. A structural model of pro-environmental competency. **Environmental & Behavior**, 34, p. 531-549, 2002.

CORRAL-VERDUGO, V. Determinantes psicológicos e situacionais do comportamento de conservação de água: um modelo estrutural. **Estudos de Psicologia**, v. 8, p. 245-252, 2003.

CORSEUIL, H. X.; FERNANDES, M. Efeito do etanol no aumento da solubilidade de compostos aromáticos presentes na gasolina brasileira. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, n. 1 e 2, p. 71-75, 1999.

COSTA, E.; LEAL, P. A. M. Produção de alface hidropônica em três ambientes de cultivo. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 358-369, 2009.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J. A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Ciências do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

DAEMME, L. C. **Estudo da emissão de aldeídos em motocicletas**. 124 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), Curitiba, Paraná, 2012.

DAEMME, L. C.; PENTEADO, R. A.; ERRERA, M. R.; ZOTIN, F. M. Z. Estudo preliminar sobre a influência do teor do combustível na emissão de amônia em motocicletas e veículos leves dos ciclos Otto e Diesel. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 1, nº 1, 2014.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (2005). **Frota de veículos por ano de fabricação segundo as regiões e unidades de federação - 2005**. Disponível em <http://www.denatran.gov.br/estatisticas>, 2006

FILIZOLA, I. M. **Identificação de valores referenciais do nível de emissão de gases de veículos automotores leves do ciclo Otto**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Transportes), Universidade de Brasília – UNB, Brasília, Distrito Federal, 2005.

HEYWOOD, J. B. **Internacional combustion engine fundamentals**. New York, MacGraw-Hill, 1988.

INCT. **Evolução da frota de automóveis e motos no Brasil: Relatório 2013**. Observatório das Metrópoles, Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia, Rio de Janeiro, 2013.

JACONDINO, G. B. **Quantificação das emissões veiculares através do uso de simuladores de gráfico**. 133 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2005.

LINGYU, Z.; YONGKUI, L. A preliminary analysis of the waterscape in face of the shortage of water. **Procedia Engineering**, v. 21, p. 693 – 699, 2011.

MANZOLI, A. **Análise das emissões veiculares em trajetos urbanos curtos com localização por GPS**. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Setor de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo. 2008.



MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J. E STANITSKI. **Princípios de química**. 6 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MOHAMMADI, T.; KAVIANI, A. Water shortage and seawater desalination by electrodialysis. **Desalination**, v. 158, p. 267 – 270, 2003.

NIJMEIJER, K.; METZ, S. Salinity gradient energy. **Sustainability Science and Engineering**, v.2, p. 95-139, 2010.

PERRONE, M. G; CARBONE, C.; FAEDO, D.; FERRERO, L.; MAGGIONI, A.; SANGIORGI, G.; BOLZACHINI, E. Exhaust emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons, *n*-alkanes and phenols from vehicles coming within different European classes. **Atmospheric Environment**, v. 82, p 391- 400, 2014.

PIMENTEL, A. S. E ARBILLA, G. Simulação da química da atmosfera poluída por automóveis a álcool. **Química Nova** , v. 20, n. 3, 1997.

PORFÍRIO, M. **Proposta metodológica para o monitoramento de gases poluentes derivados de veículos automotores em centros urbanos**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Transportes), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2008.

PROCONVE. **Manual PROCONVE PROMOT**. Coleção Meio Ambiente, Série Diretrizes – Gestão Ambiental, 3.ed., Brasília, Ibama/Diqua, 2011.

RAHDE, S. B. **Motores de combustão interna**. Apostila da PUC-RS, Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

RAMÍREZ, M. F., YEPES, M. Geopolítica de los recursos estratégicos: conflictos por agua em América Latina. **Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad**. v. 6, nº 1, p.149-165, 2011.

REBOUÇAS, A. C., Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, v. 15, p. 327-144, 2001.

REBOUÇAS, A. C., Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, p. 127-154, 1997.

REIS, E. F.; CUNHA, J. P. B.; MATEUS, D. L. S.; DELMOND, J. G.; COUTO, R. F. Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo Diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. **Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 5, p. 565-571, 2013.

RIBEIRO, E. M., GALIZONI, F. M. Água, população rural e políticas de gestão: O caso do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Ambiente & Sociedade**, v. VI, nº 1, p. 129-146, 2003.

ROPPA, B. F. **Evolução do consumo de gasolina no Brasil e suas elasticidades: 1973 a 2003**. 64 f. Monografia (Bacharelado em Economia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SALOMON, K. R. **Avaliação quantitativa do impacto ambiental das emissões gasosas e do uso da água de resfriamento em instalações de geração termelétrica**. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2003.

SANTOS, R. S. S. S.; DIAS, N. S.; SOUZA, O. N. S.; GURGEL, M. T. Uso do rejeito da dessalinização de água salobra no cultivo da alface (*lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico NFT. **Ciência Agrotecnica**, v. 34, p. 983-989, 2010.

SHÄFER, F. E BASSUHVUSEN, R. **Reduced emission and fuel consumption in automobile engines**. v. 1, Wien, Germany, p. 8, 1993.

SILVA, C. Electric and plug-in hybrid vehicles influence on CO<sub>2</sub> and water vapour emissions. **Internacional Journal of Hydrogen Energy**, v 36, p. 13225-13232, 2011.

SILVA, A. J. C.; SANTOS, E. V.; MORAIS, C. C. O.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; CASTRO, S. S. L. Electrochemical treatment of fresh, brine and saline produced water generated by petrochemical industry using Ti/IrO<sub>2</sub> – Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and BDD in flow reactor. **Chemical Engineering Journal**. v. 233, p. 47-55, 2013.

SIMON, A.; FUJIOKA, T.; PRICE, W. E.; NGHIEM, L. D. Sodium hydroxide production from sodium carbonate and bicarbonate solutions using membrane electrolysis: a feasibility study. **Separation and Purification Technology**. v. 127, p. 70-76, 2014.

SOARES, T., SILVA, I. J. O., DUARTE, S. N., SILVA, E. F. F. Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n 3, p. 730 – 737, 2006.

TACO, G. B. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para identificar espacialmente os níveis de emissão de gases derivados de veículos automotores nas áreas urbanas**. 156 f. Dissertação (Mestrado em Transportes), Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2006.

TAYLOR, C. F. **Análise dos motores de combustão interna**. V. I, São Paulo, São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1976.

TURNES, S. R. **Introdução à combustão: conceitos e aplicações**. 3.ed., Porto Alegre, Bookman, 2013.

WYLEN, G. V., Sonntag e R. Borgnakke, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**, 4.ed., São Paulo, São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1995.

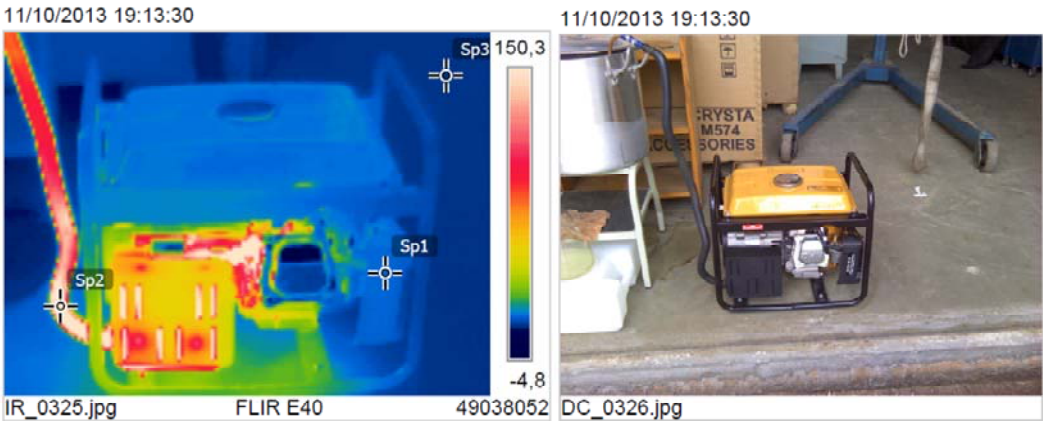
## **APÊNDICE**

APÊNDICE 1 – ANÁLISE TERMOGRÁFICA DA TEMPERATURA DE SAÍDA DOS GASES DE ESCAPAMENTO

APÊNDICE 2 – ANÁLISE TERMOGRÁFICA DO RESFRIAMENTO AO LONGO DO *CHILLER* (SERPENTINA) ONDE OCORRE O RESFRIAMENTO DO GÁS

APÊNDICE 3 – TEMPERATURA DA ÁGUA NA SAÍDA DO CHILLER

Análise da temperatura da saída dos gases de escapamento.



Measurements		°C
Sp1	30,1	
Sp2	150,3	✖
Sp3	23,8	

Parameters	
Emissivity	0.83
Refl. temp.	22 °C

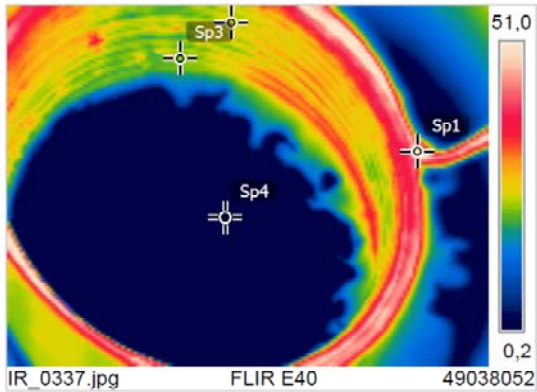
Neste experimento as medidas medidas são respectivamente:

- Tomada de ar do gerador;
- Saída do cano de escape;
- Temperatura ambiente para medição.



Análise do resfriamento ao longo do chiller (serpentina) onde ocorre o resfriamento do gás.

11/10/2013 19:42:14



11/10/2013 19:42:14



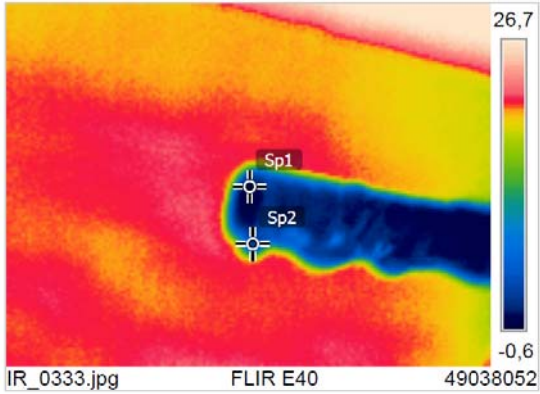
Measurements		°C
Sp1	51,7	
Sp2	26,9	
Sp3	24,5	
Sp4	-2,2	
Parameters		
Emissivity	0.87	
Refl. temp.	20 °C	

DESCRIÇÃO

As temperaturas medidas nos mostram a diminuição de temperatura ao longo da serpentina. O gás do escapamento do gerador será resfriado internamente e condensará a água produzida pela queima da gasolina.

Temperatura da água na saída do chiller (serpentina)

11/10/2013 19:39:23



11/10/2013 19:39:23



Measurements		°C
Sp1	0,3	
Sp2	2,8	
Parameters		
Emissivity	0.83	
Refl. temp.	22 °C	

DESCRIÇÃO

Esta medição consiste na temperatura da água  
liquefeita na saída do chiller resfriado.

## **ANEXO**

ANEXO 1 – ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO

ANEXO 2 – RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO ALGORITMO PARA CH<sub>4</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>  
E C<sub>16</sub>H<sub>24</sub>.



## ANEXO 1 - ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO

Desenvolvido por George Stanescu

```
//modelo matematico
//MCI (combustivel utilizado CxHyOzNw)
H_R=1*(12*x+y+16*z+14*w)*h_CxHyOzNw_0+1/2*lambda*(2*x+y/2-
z)*32*h_T("O2",T0)+1/2*lambda*(2*x+y/2-z)*3.76*28*h_T("N2",T0)
H_P=x*44*h_T("CO2",T0)+y/2*18*h_T("H2O",T0)+1/2*(z+lambda*(2*x+y/2-z)-2*x-
y/2)*32*h_T("O2",T0)+1/2*(w+3.76*lambda*(2*x+y/2-z))*28*h_T("N2",T0)
H_comb=(H_P-H_R)/(12*x+y+16*z+14*w)

Qdot_MCI=0.35*H_comb*n_CxHyOzNw*(12*x+y+16*z+14*w)
Wdot_MCI=-0.35*H_comb*n_CxHyOzNw*(12*x+y+16*z+14*w)

0=Qdot_MCI-
Wdot_MCI+n_CxHyOzNw*(1*(12*x+y+16*z+14*w)*h_CxHyOzNw_0+1/2*lambda*(2*x+y/2-
z)*32*h_T("O2",T0)+1/2*lambda*(2*x+y/2-z)*3.76*28*h_T("N2",T0)-x*44*h_T("CO2",T10)-
y/2*18*h_T("H2O",T10)-1/2*(z+lambda*(2*x+y/2-z)-2*x-y/2)*32*h_T("O2",T10)-
1/2*(w+3.76*lambda*(2*x+y/2-z))*28*h_T("N2",T10))

//dados conhecidos (CH4)
x=1
y=4
z=0
w=0
lambda=1.2
T0=25 // C
//Wdot_MCI=1000 // kW

//calculos
h_CxHyOzNw_0=h_T("CH4",T0)
mdot_CxHyOzNw=n_CxHyOzNw*(12*x+y+16*z+14*w)

mdot_CO2_10=n_CxHyOzNw*x*44
mdot_H2O_10=n_CxHyOzNw*y/2*18
mdot_O2_10=n_CxHyOzNw*1/2*(z+lambda*(2*x+y/2-z)-2*x-y/2)*32
mdot_N2_10=n_CxHyOzNw*1/2*(w+3.76*lambda*(2*x+y/2-z))*28

//Bomba d'água (adiabatica e reversivel)
0=mdot_w_1-mdot_w_2
0=-Wdot_BA+mdot_w_1*((p1*v1-p2*v2)+g*(z1-z2)/1000)
0=s1-s2

//dados conhecidos
Wdot_BA=-50 // kW
p1=100 // kPa
T1=15 // C
p2=700 // kPa
g=9.81 // m/s2
z1=-10 // m
z2=0 //m

//calculos
v1 = v_PT("Water/Steam", p1, T1)
v2 = v_PT("Water/Steam", p2, T2)
```

```

s1 = s_PT("Water/Steam", p1, T1)
s2 = s_PT("Water/Steam", p2, T2)

//Trocador de calor (isolado)
0=mdot_w_2-mdot_w_3
0=mdot_w_6-mdot_w_7
0=mdot_w_2*h2+mdot_w_6*h6-mdot_w_3*h3-mdot_w_7*h7

//dados conhecidos
p3=p2
p6=100 // kPa
p6=p7
T7=35 // C

//calculos
h2 = h_PT("Water/Steam", p2, T2)
h6 = hsat_Px("Water/Steam", p6, 1)
h3 = h_PT("Water/Steam", p3, T3)
h7 = h_PT("Water/Steam", p7, T7)

//Aquecedor (isolado)
0=mdot_w_3-mdot_w_4
0=Q_sun-Qdot_MCI+Qdot_Aq+mdot_w_3*h3-mdot_w_4*h4

0=-Qdot_Aq+n_CxHyOzNw*(x*44*(h_T("CO2",T10)-h_T("CO2",T11))+y/2*18*(h_T("H2O",T10)-
h_T("H2O",T11))+1/2*(z+lambda*(2*x+y/2-z)-2*x-y/2)*32*(h_T("O2",T10)-
h_T("O2",T11))+1/2*(w+3.76*lambda*(2*x+y/2-z))*28*(h_T("N2",T10)-h_T("N2",T11)))

//dados conhecidos
p4=p3
T4=140 // C
T11=T3
Q_sun=1000 // kW

//calculos
h4 = h_PT("Water/Steam", p4, T4)

//Evaporador (isolado)
0=mdot_w_4-mdot_w_5-mdot_w_6
0=mdot_w_4*h4-mdot_w_5*h5 -mdot_w_6*h6

//dados conhecidos
p5=p6

//calculos
h5=hsat_Px("Water/Steam", p5, 0)

Consumo=mdot_CxHyOzNw/mdot_w_7

```

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO ALGORITMO PARA CH<sub>4</sub>, C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>  
E C<sub>16</sub>H<sub>24</sub>.

	CH4	C8H18	C16H24
Consumo	0,1339	0,1598	0,1772
H_comb	-5,012E4	-4,201E4	-3,79E4
h_CxHyOzNw_0	-4666	-4666	-4666
H_P	-8,765E5	-5,321E6	-9,193E6
H_R	-7,466E4	-5,32E5	-1,008E6
h2	61,93	61,93	61,93
h3	253,3	253,3	253,3
h4	588,7	588,7	588,7
h5	417,9	417,9	417,9
h6	2675	2675	2675
h7	146,1	146,1	146,1
mdot_CO2_10	1,993	2,671	3,127
mdot_CxHyOzNw	0,7248	0,8651	0,9595
mdot_H2O_10	1,631	1,229	0,9595
mdot_N2_10	11,45	11,98	12,35
mdot_O2_10	0,5798	0,6071	0,6255
mdot_w_1	71,55	71,55	71,55
mdot_w_2	71,55	71,55	71,55
mdot_w_3	71,55	71,55	71,55
mdot_w_4	71,55	71,55	71,55
mdot_w_5	66,14	66,14	66,14
mdot_w_6	5,414	5,414	5,414
mdot_w_7	5,414	5,414	5,414
n_CxHyOzNw	0,0453	0,007589	0,004442
p3	700	700	700
p4	700	700	700
p5	100	100	100
p7	100	100	100
Qdot_Aq	1,029E4	1,028E4	1,027E4
Qdot_MCI	-1,271E4	-1,272E4	-1,273E4
s1	0,2207	0,2207	0,2207
s2	0,2207	0,2207	0,2207
T10	619,1	604,2	594,7
T11	60,4	60,4	60,4
T2	15	15	15
T3	60,4	60,4	60,4
v1	0,001001	0,001001	0,001001
v2	0,001001	0,001001	0,001001
Wdot_MCI	1,271E4	1,272E4	1,273E4
g	9,81	9,81	9,81
lambda	1,2	1,2	1,2
p1	100	100	100
p2	700	700	700
p6	100	100	100
Q_sun	1000	1000	1000
T0	25	25	25
T1	15	15	15
T4	140	140	140
T7	35	35	35
w	0	0	0
Wdot_BA	-50	-50	-50
x	1	8	16
y	4	18	24
z	0	0	0
z1	-10	-10	-10
z2	0	0	0